

467

Rohstoff- und Energievorräte der Welt

FESTREDE

gehalten in der öffentlichen Sitzung
der Bayerischen Akademie der Wissenschaften
am 15. Januar 1943

von

Klaus Clusius

o. Mitglied der mathematisch-naturwissenschaftlichen Abteilung

München 1945

Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission bei der C. H. Beck'schen Verlagsbuchhandlung München

binderei
HWA
inchen

Rohstoff- und Energievorräte der Welt

FESTREDE

gehalten in der öffentlichen Sitzung
der Bayerischen Akademie der Wissenschaften
am 15. Januar 1943

von

Klaus Clusius

o. Mitglied der mathematisch-naturwissenschaftlichen Abteilung

München 1945

Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften

in Kommission bei der C. H. Beck'schen Verlagsbuchhandlung München

Sie würden mir für die kommende Stunde sehr wenig Dank wissen, wenn ich Ihnen etwa eine trockne statistische Aufzählung der verschiedenen für den Menschen nützlichen Naturprodukte, ihrer Veredlung und Verwendung, sowie ihrer Bewirtschaftung und ähnliche Betrachtungen bringen wollte. Wir werden auch von geopolitischen und technischen Schwierigkeiten weitgehend absehen. So soll es für uns kein Problem bedeuten, daß bisweilen ein Teil der Menschheit weder Kaffee noch Baumwolle erhält, während in den Erzeugerländern durch eine staatlich befohlene Vernichtung dieser Güter der Überfluß künstlich eingedämmt wird – sei es, daß man Kaffee ins Meer schüttet, oder Baumwolle verfeuert. Diese Maßnahmen sind ein Ausdruck menschlicher Fehlleistungen, die unser sittliches Empfinden beleidigen und überwunden werden müssen. Sie sind in der menschlichen Unzulänglichkeit begründet und haben ihre tieferen Ursachen in der Verteilung der einzelnen Völker auf die Kontinente sowie in ihrer zivilisatorischen, sozialen und weltanschaulichen Struktur. Diese wird weiter beeinflußt durch ihre Charakterveranlagung und oft genug durch den Aufruhr absichtlich erregter Leidenschaften. So sehr diese Fragen für den Volkswirtschaftler und Politiker Gegenstand der Aufmerksamkeit sein müssen, so wenig Gesichtspunkte kann der Naturwissenschaftler für seine Arbeit aus ihnen gewinnen.

Eine bilanzmäßige Darstellung des Rohstoff- und Energieproblems müßte nicht nur ermüdend wirken, sie würde auch wesentliche Gesichtspunkte vermissen lassen. Gerade auf diese übergeordneten Gedanken kommt es mir vorwiegend an. Denn nur der oberflächliche Betrachter glaubt, daß die menschlichen Lebensbedingungen durch die eindrucksvollen und großartigen Anlagen des technischen materiellen Schaffens gestaltet werden. Der tieferblickende Beobachter weiß dagegen, daß heute wie ehemals die letzten Fäden in den unbeachteten und stillen Stätten der wissenschaftlichen rein geistigen Forschung zusammenlaufen. Auf die dort zutage geförderten Erkenntnisse und die dort errungenen Leistungen werden wir uns allein zu beziehen haben. Wir können dadurch Einblick in die Zustände der Gegenwart erhalten und Schlüsse über die Richtung ziehen, in der sich die künftige technische Entwicklung zwangsläufig wird bewegen müssen.

Der Erdball, auf dessen Oberfläche das menschliche Leben kommt und geht, läßt seinen unterschiedlichen Aufbau teils unmittelbar erkennen, teils

kann er auf indirektem Wege erschlossen werden. Herrscht hinsichtlich der Beschaffenheit des uns unzugänglichen Erdinnern noch keine volle Klarheit, so ist uns die Erdoberfläche um so besser bekannt. Wir unterscheiden zunächst eine die Erde allseitig umgebende Lufthülle, die Atmosphäre. Etwa Vierfüntel der Erdoberfläche ist von Meeren und den wenig ins Gewicht fallenden Binnengewässern bedeckt. Aus dieser Hydrosphäre ragt teilweise der Gesteinsmantel der Erde hervor. Dieser setzt sich aber nicht bis zum Erdkern fort. Wir vermuten vielmehr auf Grund des Gesamtgewichts der Erde und seismischer Messungen, daß diese Lithosphäre in einer Tiefe von 1200 km durch eine Zone abgelöst wird, in der Oxyde und Sulfide von Schwermetallen angereichert sind, die die Chalkosphäre bilden. In noch größerer Tiefe, bei etwa 2800 km, soll dann der Eisennickelkern, die Siderosphäre, beginnen. Zu diesen fünf geochemischen Schichten kommt schließlich noch die Biosphäre, die das gesamte organische, also das pflanzliche, tierische und menschliche Leben umfaßt. Dieses spielt sich am Boden des für sie unentbehrlichen Luftozeans, an der Berührungsfläche von Atmosphäre mit Lithosphäre und Hydrosphäre ab, reicht aber in letztere noch erheblich hinein.

Die Chemie lehrt uns, daß die gesamte bunte Mannigfaltigkeit der materiellen Welt auf eine verhältnismäßig kleine Zahl von chemisch nicht zerlegbaren Urstoffen, die Elemente, zurückgeführt werden kann. Wir kennen deren heute 92. Ein besonderer Zweig unserer schönen Wissenschaft, die Geochemie, beschäftigt sich damit, die Verteilung dieser Elemente auf die verschiedenen Sphären und ihre relative Häufigkeit zu ermitteln. Sie ist dabei keineswegs auf irdisches Material beschränkt, wie es zuerst erscheinen möchte. Einmal gibt es die Möglichkeit, kosmische Materie in Gestalt von Meteoriten, die auf die Erde fallen, unmittelbar zu untersuchen. Viel umfassender sind jedoch die Erkenntnisse der spektralanalytischen Forschung. Dank der Entdeckungen von Bunsen und Kirchhoff gelingt es, die chemische Sonde in die unermesslichen Tiefen des Weltenraumes zu senken und nicht nur die Zusammensetzung der Sonne und Fixsterne unseres Milchstraßensystems, sondern sogar der weitentfernten Spiralnebel zu ergründen. Der forschende Menschegeist hat in diesem Falle die Fesseln seines engen irdischen Gefängnisses gesprengt und auf dem Wege des Lichts eine umfassende Kenntnis von der Beschaffenheit der Gestirne erlangt, zu denen ein anderer Zugang ihm stets verwehrt bleiben wird.

Das wunderbare Ergebnis dieser umfangreichen, heute noch keineswegs abgeschlossenen Bemühungen besteht darin, daß das Universum erstaun-

lich gleichmäßig aufgebaut ist. Niemals wurde ein Element gefunden, das wir nicht auf der Erde bereits kennen. Sämtliche Rohstoffe der Welt bestehen daher nur aus jenen 92 Elementen und ihren Verbindungen.

Der Chemiker pflegt seine Elemente einzuteilen, indem er die Masse der einzelnen Atome miteinander vergleicht und sie nach steigenden Atomgewichten ordnet. Er numeriert die 92 Elemente also durch (nachdem er noch ein paar sachlich begründete Umstellungen vorgenommen hat), so daß jedes Element eine bestimmte Zahl, seine Ordnungszahl, erhält. Wir wissen heute, daß diese zunächst mehr nach äußeren Gesichtspunkten vorgenommene Einteilung in dem elektrischen Aufbau der Atome eine früher ungeahnte innere Rechtfertigung findet. Danach ist jedes Atom zusammengesetzt aus einem positiv geladenen Kern und negativen Elektronen, die ihn in einer Wolke umgeben. Die Ladungszahl des Kernes stimmt mit der Ordnungszahl der Elemente und der Anzahl der Elektronen in der Hülle genau überein, so daß das gesamte Atom elektroneutral ist. Die Kerne selbst bestehen aus positiv geladenen Protonen und ungeladenen Neutronen; jedes dieser Elementarteilchen besitzt nahezu eine Masseneinheit, während die Elektronen 1830mal leichter sind. Danach sind also die chemischen Elemente selbst aus 3 Urteilchen, dem Proton, Neutron und Elektron, aufgebaut.

Bei diesem Sachverhalt wird es uns vielleicht nicht mehr so sehr wundern, daß tiefgreifende Zusammenhänge zwischen den einzelnen Elementen bestehen. Die Geochemiker haben beispielsweise zwei wichtige Gesetzmäßigkeiten für die Zusammensetzung des Universums herausgefunden. Die eine besagt, daß im Durchschnitt ein Element um so seltener vorkommt, je höher seine Ordnungszahl, je schwerer es also ist. Seine Häufigkeit ist etwa der 7. bis 8. Potenz der Ordnungszahl umgekehrt proportional. Wir wollen uns diesen Sachverhalt veranschaulichen. Zu den häufigsten Elementen gehört der Sauerstoff mit der Masse 16. Das schwerste Element ist das Uran mit dem Atomgewicht 238; es ist auf der Sonne etwa 100 bis 1000 Millionen mal seltener als Sauerstoff. Dagegen wird auf fast allen Sternen das leichteste Element, der Wasserstoff, in großer Konzentration angetroffen. Das zweite merkwürdige Gesetz besagt, daß Elemente ungerader Ordnungszahl stets seltener als ihre geradzahligen Nachbarn, durchschnittlich etwa 10mal seltener, sind.

In dem uns zugänglichen Gebiet der Erdoberfläche ist die erstgenannte Gesetzmäßigkeit nur verzerrt zu erkennen. Das kann nicht überraschen, denn der eingangs besprochene schalige Aufbau der Erde ist durch eine Sonderung der Materie nach physikalisch-chemischen Gesetzen zustande-

gekommen. Die für uns wichtigsten Trennungen erfolgten bei der Erstarrung der Silikathülle, indem zuerst die Kristallisate mit den höchsten Schmelzpunkten ausfielen, wobei in dem Restmagma bestimmte Elemente angereichert wurden. Wir bemerken hier sofort die außerordentliche praktische Bedeutung der Geochemie für unsere Kenntnis von den Rohstoffvorkommen. Sie deckt die theoretischen Hintergründe für die Bildung bestimmter Lagerstätten auf und kann uns verraten, welche Elemente einander geochemisch begleiten, welche Rolle Wind und Wasser bei der Verwitterung spielen und wo die Entstehung bestimmter Ablagerungen und technisch nutzbarer Vorkommen zu erwarten ist. Damit gewährt die Geochemie dem Bergmann bindende Voraussagen für den Ort, an dem er mit Aussicht auf Erfolg eine Schürfung nach einem begehrten Erz anzusetzen hat.

Sie vermittelt uns weiter die Erkenntnis, daß ein Teil der für das Leben unentbehrlichen Rohstoffe in einem steten Kreislauf begriffen ist. So wird in den Pflanzen unter dem Einfluß des Sonnenlichts die Kohlensäure der Luft in Sauerstoffgas, das zur Atmosphäre zurückkehrt und den Tieren zur Atmung dient, und Kohlenstoffverbindungen gespalten, die die Pflanze aufbauen. Geht die Pflanze ein, so fällt sie der Verwesung anheim und ihr Skelett wird durch die Tätigkeit von Mikroorganismen zerlegt, wobei Kohlensäure zurückgebildet und der Atmosphäre wieder einverleibt wird. Auch der für das organische Leben unentbehrliche Phosphor vollführt einen ähnlichen Kreislauf im Meer. Mit den absterbenden Bewohnern der Ozeane regnet unaufhörlich ein Reichtum an Phosphorverbindungen auf den Boden der Tiefsee, die eine ungeheure Vorratskammer an Nährstoffen darstellt. Durch die Meeresströmungen wird der Phosphor wieder dem Oberflächenwasser zugeführt. Der Fischreichtum der isländischen Gewässer hat ebenso wie die Walvorkommen in den Meeren der Antarktis letzten Endes seine Ursache in der dauernden Zuleitung von phosphat- und stickstoffhaltigem Tiefseewasser nach den Polkappen hin. Die Entfaltung des als Futter dienenden Planktons wird dabei durch die größere Löslichkeit des Sauerstoffs im kalten Wasser noch entschieden begünstigt. So kommt es, daß die wärmeren tropischen und subtropischen Meere gegen die kalten Polarbecken unfruchtbare Wasserwüsten darstellen. Bei ihnen fehlt eben eine entsprechende Zufuhr an nährstoffreichem Tiefseewasser; auch ist die Löslichkeit des Sauerstoffs im wärmeren Wasser geringer. An dem eben beschriebenen Kreislauf nimmt der Stickstoff teil, der zum Aufbau des lebensbildenden Eiweiß unentbehrlich ist. Dieses Element führt weiter unter Mitwirkung gewisser Bodenbakterien einen sehr wichtigen anderen Kreislauf zwischen der Luft, die ja zu 78% aus Stickstoff besteht, und den

Landpflanzen durch. Kreisläufe, in die Organismen eingeschaltet sind, kennen wir ferner beim Vanadin, das für die Atmung von gewissen Meeresbewohnern, den Manteltieren, benötigt wird. Wahrscheinlich trifft ähnliches für das Molybdän zu. Sicher aber ist ein organischer Kreislauf beim Jod für das Zoo- und Phytoplankton vorhanden. Bei ihm ist auch ein rein anorganischer Umlauf zwischen Luft, Niederschlägen, Boden, Flüssen und Meer festgestellt.

Wenn nun unser ästhetisches Verlangen durch die dargelegten Verhältnisse eine wohlthuende Befriedigung empfindet, da die Bedürfnisse von Tier und Pflanze im Sinne einer teleologischen Naturauffassung auf das Beste einander angepaßt erscheinen, so wird ein solcher naiver Glaube durch die Wissenschaft sofort zerstört. Die Geochemie zeigt, daß die verschiedenen Kreisläufe recht bedenkliche Anzapfstellen besitzen, die eine unendliche Wiederkehr des geschilderten Stoffumlaufs mit Sicherheit ausschließen. So wird Kohlendioxyd mit den Niederschlägen aus der Luft herausgewaschen und trägt dann zur beschleunigten Abnagung des Gesteinsmantels der Erde bei. Die gebildeten Produkte werden teils mechanisch, teils gelöst in das Meer gespült, aus dem sie zunächst nicht mehr zurückkehren. Große Mengen Kohlendioxyd geraten dadurch in Form von Kalzium- und Magnesiumkarbonat in die Sedimente und treten bei später einsetzenden Hebungen in Form ganzer Gebirgszüge wieder in Erscheinung. Riesige Massen von Pflanzen sind besonders in früheren geologischen Epochen nicht vollständig verwest, sondern in Kohlen umgewandelt worden und haben Energievorräte gebildet, aus denen wir heute bedeutenden Nutzen ziehen. Dabei wurden ungeheure Mengen Kohlendioxyd aus der Atmosphäre entfernt, die ihr in den Industrieabgasen nur teilweise zurückerstattet werden. Denn nicht alle Kohlenlager sind zugänglich; die unter dem Meeresspiegel oder in zu großer Tiefe liegenden Flöze sind dem menschlichen Zugriff entzogen, andere wieder wegen zu geringer Mächtigkeit überhaupt nicht abbauwürdig. Jedenfalls sollte in geologischen Zeiten ein fortschreitender Rückgang des Kohlendioxydgehalts der Atmosphäre zu verzeichnen sein, der zwar durch den aus Vulkanen und Spalten erfolgenden Nachschub juvenilen Kohlendioxyds verzögert, im ganzen aber nicht aufgehalten werden kann. Ähnlich steht es mit dem Phosphor. Von den am Grunde der Weltmeere abgelagerten Phosphorverbindungen gelangt nur ein Teil in den biologischen Kreislauf zurück, der Rest verbleibt den Sedimenten. Der Verlust wird ausgeglichen durch die Phosphate, die infolge ständiger Verwitterung der Urgesteine freigemacht und mit den Flüssen ins Meer geschwemmt werden. Er wird gegenwärtig wahrschein-

lich sogar überkompensiert durch die gewaltigen Phosphatmengen, die in den zivilisierten Ländern die Schwemmkanalisation als Abfall des menschlichen Stoffwechsels den Strömen zuleitet. Dadurch geht freilich gerade den Menschen dieser wertvolle Rohstoff laufend und unwiederbringlich verloren. Auch das Jod gerät dauernd in die Sedimente, und Vanadin ist auf dem Umweg über die Tierwelt in manchen Eisenerzen und Kohlenlagern angereichert worden.

Die Natur arbeitet also keineswegs verlustfrei. Dennoch sind die Zeiträume, die verstreichen müssen, um das biologische Antlitz der Erde auf natürlichem Wege zu ändern, von geologischem Ausmaß. Nur dann, wenn äußere nachhaltige Eingriffe in den natürlichen Ablauf des Geschehens erfolgen, treten Veränderungen in geschichtlicher Zeit auf.

Solche Beeinflussungen nimmt nun der Mensch von Alters her in geringem und in der Neuzeit in immer steigendem Umfange vor. Obwohl er sich dabei bemüht, die Natur seinen Bedürfnissen dienstbar zu machen, ist bisweilen der Erfolg seiner Bestrebungen wegen der Unkenntnis tiefliegender Zusammenhänge für ihn eher vernichtend als fördernd. Immer zahlreicher werden die Beispiele, daß sinnloser Raubbau und verblendete Gier ihn gerade der Hilfsquellen im Daseinskampf völlig berauben, die er sucht und schätzt. Die Kakteen- und Kaninchenplage als Folge unbedachter Besiedlungen hat das Bild der australischen Landschaft grundlegend verändert. Rücksichtslose Abholzung der Wälder verwandelten ein feuchtes, fruchtbares Klima in den Mittelmeerländern und strichweise in Nordamerika in erstaunlich kurzer Zeit in ein trockenes, steriles. Die Ausrottung der Robben und Wale in den arktischen Meeren und das für die antarktischen Artgenossen trotz aller Schongesetze unaufhaltsam kommende gleiche Schicksal schneiden jede zukünftige Möglichkeit einer vernünftigen Nutzung dieser Tierbestände ein für allemal ab. Die Verödung der afrikanischen Steppen scheint ebenso sicher wie die Vernichtung der riesigen Bisonherden in Nordamerika.

Diese durch den Menschen hervorgerufene Entwicklung, die eine Entvölkerung der Biosphäre und eine für jeden Naturfreund schmerzliche Verringerung des Artenreichtums der Säugetierwelt eingeleitet hat, macht auch vor den toten Rohstoff- und Energievorräten unseres Planeten nicht Halt. Grundsätzlich lassen sich diese einteilen in Güter, die an menschlichen Verhältnissen gemessen in unerschöpflicher Menge vorhanden sind, und in solche, die durchaus erschöpfbare, wenn auch vielleicht sehr große Vorräte bilden. Zu den ersteren gehören der Sauerstoff, Stickstoff und die Edelgase in der Luft, die heutzutage für zahllose technische Erfordernisse,

besonders zur Verhüttung der Erze und in Gestalt künstlichen Düngers zur Steigerung der Ertragsfähigkeit unseres Bodens, sowie zur Erzielung einer ökonomischen Beleuchtung eine Rohstoffquelle ersten Ranges darstellt. Mit Wasser ist unser Planet gegenüber den anderen Wandelsternen in auffallend hohem Maße bedacht; an ihm ist im ganzen betrachtet kein Mangel. Dagegen bietet die Wasserhaltung und Wasserverteilung den Technikern noch großartige Zukunftsaufgaben. Muß es doch in Nordafrika gelingen, durch Bewässerung und sonstige geeignete Maßnahmen, ganze verödete Landstriche wieder in die blühenden Gärten und fruchtbaren Kornkammern zu verwandeln, die sie in historischer Zeit einmal gewesen sind. Hand in Hand mit diesen friedlichen Eroberungsplänen kann die Milderung klimatischer Gegensätze angestrebt werden. An Kochsalz, Kalk, Magnesium- und Aluminiumverbindungen, die mächtige Ablagerungen bilden, wird niemals Mangel sein. Überhaupt gehört den Leichtmetallen, die nach dem genannten geochemischen Gesetz absolut genommen häufig und eben wegen ihrer Leichtigkeit in der äußeren Erdrinde besonders angereichert sind, die Zukunft, worauf schon oft hingewiesen wurde. Bereits die Gegenwart läßt ahnen, welche neue Anwendungsmöglichkeiten hier noch erschlossen werden können.

Stellen wir jetzt die Gegenrechnung an und wenden wir uns dem ernsteren Problem der erschöpfbaren Vorräte zu. Dazu gehören vor allem die Kohle und die Schwermetalle, wie Eisen, Nickel, Kupfer, Zink, Zinn, Blei, die in größter Menge benötigt werden. Andere wie Vanadin, Chrom, Mangan, Molybdän, Wolfram, Platin, Kadmium, Tantal und Kobalt dienen vorzüglich zu Veredlungszwecken. Sie müssen als Baumaterial für Spezialgeräte in der Maschinenwirtschaft und als Katalysatoren in der chemischen Industrie unbedingt in ausreichender Menge zur Verfügung stehen, wenn der gegenwärtige Stand unserer äußeren Lebensbedingungen erhalten oder gar noch weiter entwickelt werden soll.

Die in der Erdrinde verteilten Schwermetalle stellen an sich zwar einen riesigen Vorrat dar. In jeder Tonne Gestein sind etwa 4,7 kg Eisen, 20 g Zink, 18g Nickel, 10g Kupfer, 7g Wolfram, 1,5g Molybdän und 0,8g Blei enthalten. Aber eine wirtschaftliche Gewinnung dieser Metalle ist ganz aussichtslos. Erst die eingangs angedeuteten geochemischen Sonderungsvorgänge haben die technischen Voraussetzungen geschaffen, indem sie an manchen Stellen der Erdrinde eine Konzentration dieser Elemente um mehrere Zehnerpotenzen hervorriefen. Die Entstehung dieser Lagerstätten brauchte eine Spanne von Millionen von Jahren und war ein einzigartiger, in historischen Zeiträumen unwiederholbarer Vorgang. Der Abbau kann

nur einmal erfolgen und läßt als Ende die sichere Erschöpfung dieser irdischen Hilfsquellen voraussehen. Denn die Ausräumung der Rohstoffvorräte findet heute in einem Umfang statt, dem auf die Dauer selbst die gewaltigsten Lagerstätten nicht gewachsen sind. Die steigende Nachfrage nach den Schwermetallen hat die Geschwindigkeit des Abbaus in den letzten 50 Jahren dermaßen erhöht, daß bei manchen Elementen die Erschöpfung ihrer Lager innerhalb der nächsten 100 Jahre zu erwarten ist. Dies trifft insbesondere für Nickel, Chrom, Zink, Zinn und Blei zu. Das Schicksal dieser Metallmengen ist nur zu offenbar. Die gefördertten Erze werden auf ihre reinen Elemente oder deren Legierungen und Verbindungen verarbeitet, dann durch den Handel dem Verbraucher zugeführt und binnen kurzem abgenutzt und endlich fortgeworfen. Sie gehen dadurch zum größten Teil den Menschen für immer verloren.

Ich möchte diese Verhältnisse doch durch einige Zahlen, die Henglein mitteilt, erläutern. Von 1800 bis 1930 hat sich die Förderung des Eisens ver Hundertfacht. Statt 820 000 Tonnen um die Wende des vorigen Jahrhunderts wurden vor 15 Jahren 85 Millionen Tonnen jährlich dem Schoße der Erde entrissen. In den Jahren von 1900 bis 1925 sind mehr Kohlen aus den Bergwerken geschafft und verbraucht worden als in der gesamten menschlichen Zeitrechnung vor 1900 zusammen genommen. 1850 betrug die Rohphosphaterzeugung für Düngezwecke 1000 Tonnen im Jahr – 1930 dagegen 12 Millionen Tonnen, also das 12 000fache! Diese Mengen geben doch zu denken, wenn man berücksichtigt, daß von den Rohstoffen, die bis in etwa 1 km Tiefe liegen, nur der 10^5 . bis 10^6 . Teil wirklich in Form nutzbarer Lagerstätten vorliegt.

Wir halten einen Augenblick inne, um einem stets vorgebrachten Einwand entgegenzutreten, der sich aufdrängt. Man wird geltend machen, daß auch in der Zukunft neue große Kohle- und Erzvorkommen erschlossen werden können. Diese Möglichkeit läßt sich nicht von der Hand weisen, wenn sie auch von den Geochemikern lange nicht so günstig beurteilt wird, wie der Laie vielleicht erwartet. Immerhin wird jeder zugeben, daß im besten Falle durch neue Funde die endliche Erschöpfung nicht verhindert, sondern nur hinausgeschoben wird. Der Gegenstand hat überdies noch einen sehr ernsten geopolitischen Hintergrund. Begreiflicherweise sind die alten Kulturländer Europas am genauesten nach Vorkommen durchforscht. Hier sind die bestehenden Möglichkeiten wohl restlos erkannt. Dagegen können in den schwer zugänglichen Gebieten Sibiriens, Zentralasiens, Innerafrikas, im nördlichen Kanada und vielleicht auch in der Antarktis noch wertvolle und überraschende Funde ausstehen. Es braucht

jedoch kaum betont zu werden, daß damit das friedens- und wehrmäßige Wirtschaftspotential sich immer mehr von der Alten Welt nach den genannten Ländern verlagert, und daß damit die Abhängigkeit der europäischen Industrie vom Ausland ganz unerwünscht vermehrt wird. Kontrolliert doch heute schon fast ausschließlich China den Markt des kriegswichtigen Wolframs, und Japan beherrscht in den Malaienstaaten die hauptsächlichlichen Zinnvorkommen der Erde.

Früher, vor und während des Zeitalters der großen geographischen Entdeckungen war das anders. Die europäische Vormachtsstellung war unbestritten und auf allen Gebieten selbstverständlich – nicht den Ansprüchen nach, was wenig zu sagen hat, sondern tatsächlich. In deutschen Landen war besonders die Berg- und Hüttenkunde zu hoher Vollkommenheit und Blüte gebracht worden. Dieser Umstand hat naturgemäß auch in der Literatur seinen Niederschlag gefunden. Bücher wie die von Georg Agricola verfaßte, bereits 1554 erschienene Schrift „De re metallica“, die wegen ihrer prachtvollen Holzschnitte heute noch jeden Naturforscher und Ingenieur begeistert, hat kein anderes Land aufzuweisen. So kommt es, daß Montanistik und Wirtschaft der ganzen Welt durch den Deutschen Bergbau des ausgehenden Mittelalters und seine Erzeugnisse tief beeinflußt worden sind. Der angelsächsische Sprachschatz enthält für die mit dem Hüttenwesen zusammenhängenden Dinge viele aus dem Deutschen übernommene Lehnworte. Hat doch sogar die nordamerikanische Währungseinheit, der Dollar, seinen Ursprung in der Joachimsthaler Silbermünze, die einst wegen ihrer unveränderlichen Güte in der gesamten Welt hoch geschätzt wurde.

Dabei fällt uns auf, daß Silber und Gold unter den erwähnten Schwermetallen noch fehlen. Tatsächlich haben jedoch beide Elemente nur eine beschränkte technische Verwertbarkeit. Der Nimbus, der diese Metalle aus der freundlichen Erinnerung unserer Kindertage unzerstörbar umschwebt, verliert in den kritischen Augen des Technikers viel von seinem Glanz. Beide Metalle sind lehrreiche Beispiele für die Verschiebung alter Wertungen durch die moderne Technik. An sich eignen sie sich für monetäre Zwecke hervorragend gut. Sie sind als Elemente ungerader Ordnungszahl selten, dazu edel und leicht teilbar. Insbesondere erweist sich der hohe spezifische Wert des Goldes bei der Versendung zu Zahlungszwecken als bequem. Dazu ist es nur für wenige technische Zwecke zu benutzen, so daß es nicht ein unmittelbares Objekt hemmungsloser Spekulationswut werden kann, wie es beim Platin der Fall war. Das Wertverhältnis für Gold zu Silber stand jahrtausendelang meist bei 12:1. In der Mitte des vorigen Jahrhunderts wurden neue große Goldfelder entdeckt; der Silberpreis

stieg und die Quote war 9:1. Aber seit 1870 ist die Kaufkraft des Silbers dauernd im Fallen und das Verhältnis ist heute auf etwa 85:1 gesunken und wäre noch tiefer, wenn der Preis für Silber nicht künstlich gestützt würde. Schuld daran ist merkwürdigerweise das Aufblühen der modernen Elektrotechnik, die gewaltige Mengen Kupfer benötigt. Für Leitungszwecke muß das Kupfer von äußerster Reinheit sein, wenn die Stromverluste in erträglichen Grenzen bleiben sollen. Die Elektrochemie hat nun die billige Reinigung des Kupfers gelehrt; dabei werden die stets vorhandenen kleinen Mengen Silber neben anderen Edelmetallspuren beinahe mühelos gewonnen. So hat die Elektrotechnik den Wertsturz des Silbers ausgelöst, das heute notwendigerweise überproduziert wird. Diese Entwicklung hat für die Kaufkraft in Ländern mit Silberwährung, wie Mexiko und China, katastrophale Wirkungen gehabt.

Überhaupt macht sich der Laie meist keinen Begriff von der Schwierigkeit, das Schiff der Wirtschaft zwischen Szylla und Charybdis von Angebot und Nachfrage glücklich durchzusteuern. Ein neuer Verwendungszweck beseitigt nur dann die Schwierigkeiten einer Überproduktion, wenn dadurch ein wirkliches Gleichgewicht erreicht wird. Das ist selten genug der Fall. Amerikanische Automobilfabriken verwendeten in den letzten Jahren das Silber als Zusatz bei Lagermetallen, wofür es sich hervorragend eignet. Diese Legierungen benötigen indessen noch Kadmium, dessen Menge als Nebenprodukt der Zinkgewinnung durch den Verbrauch an diesem Element festgelegt ist. Tatsächlich steigt aber die Nachfrage nach Kadmium dauernd, da es neuerdings für metallische Überzüge sehr geschätzt wird, und jener verheißungsvolle Versuch kann aus Mangel an Kadmium nicht im geplanten Umfang durchgeführt werden. Augenblicklich will man in Amerika sogar die Konservenbüchsen versilbern, um fehlendes Zinn zu sparen. Ein weiteres Beispiel bietet ein Begleitmetall des Platins, das Rhodium. Es ist ein edles Metall von herrlich warmem, silberähnlichem, aber luftbeständigem Glanz, der einen Stich ins Rötliche besitzt. Es hatte wichtige, aber zu enge Verwendungsbereiche. Man erfand, um den Überschuß unterzubringen, ein Verfahren, Schmucksachen mit einem galvanischen Überzug von Rhodium zu versehen – die Nachfrage schnellte so stark in die Höhe, daß das Rhodium für diesen Zweck nicht mehr ausreicht.

Eine gewisse Entlastung der Förderung und eine Verzögerung der Verdünnung an nutzbaren Rohmaterialien sollte sich durch verstärkte Sammel-tätigkeit von Altmaterial bewirken lassen. Diese ist somit nicht nur in der gegenwärtigen Kriegslage, sondern erst recht im Frieden für die Zukunft

von größter Bedeutung. Der Chemieingenieur endlich darf auf neue Aufbereitungs- und Anreicherungsverfahren hoffen, die die Nutzung immer ärmerer Erze gestatten. Gewinnen wir doch jetzt durch das physikalisch-chemische Schaumschwimmverfahren Kupfer aus Vorkommen, die vor 50 Jahren beim damaligen Stand der Technik niemals abbauwürdig gewesen wären. Alte Schlackenhalde unserer Vorfahren werden heute mit modernen Verfahren wieder durchgearbeitet, wobei uns durchaus als nutzbringende Lagerstätte das erscheint, was früher wertloser Abfall war. Eisen kann nach dem Rennverfahren aus armen kieselsäurereichen Vorkommen, den Doggererzen, mit einem gewissen Mehraufwand an Kohle erschmolzen, Jod aus Hochofenflugstaub gewonnen und Aluminium aus Kohlenasche hergestellt werden. Letztere ist ein überraschend reichhaltiger Rohstoff, der nachdrückliche Beachtung verdient. Hat doch eine Tonne Steinkohlenasche einen Metallinhalt von über 100 Goldmark Wert! Die genaue Durchmusterung der in einem Betrieb umlaufenden Zwischenprodukte eröffnet manche neue Möglichkeit, ähnlich wie bei der Kupferaffination wertvolle Elemente als Nebenprodukte zu gewinnen. In der Thomasschlacke ist der Phosphor auf 11% angereichert, während das ursprüngliche Erz nur 0,5 bis 0,8% enthielt. Aus kanadischen Nickelerzen kommen heute über 40% des Platins und erhebliche Palladiummengen in den Handel, deren unmittelbare Gewinnung nicht möglich wäre. Aus dem Mansfelder Kupferschiefer werden neben Molybdän das äußerst seltene Rhenium und Gallium erhalten; bei der Bleiverhüttung wird Indium gewonnen. Eine Verwendung dieser zwei letzten Metalle steht noch fast ganz aus. Sie sind zur Zeit nicht viel mehr als wissenschaftliche Kuriosa. Doch dürfen wir überzeugt sein, daß ihre Zeit noch kommen wird.

Der große Vorteil bei der Gewinnung eines Rohstoffs als Nebenprodukt ist neben der Arbeitersparnis darin zu erblicken, daß der notwendige Energieverbrauch nicht in Rechnung gestellt werden muß. Denn prinzipiell kann man die Anreicherung eines jeden Elements und Rohstoffs erzwingen, wenn man den Aufwand an Energie und menschlicher Arbeit nicht anzusehen braucht. Da die letztere sich weitgehend ausschalten läßt, was wieder auf die Anwendung von mechanischer und elektrischer Energie hinausläuft, so kann letzten Endes eine Rohstoffknappheit durch rücksichtslosen Einsatz von Energie stets überwunden werden.

Der bewußte und ungehemmte Gebrauch der Energie ist das eigentliche Kennzeichen des modernen Menschen. Standen ihm vor 200 Jahren neben den ortsgebundenen Kräften von Wind und Wasser nur die bescheidene Muskelarbeit seiner Arme und Tiere zur Verfügung, so hat sich dieses

Bild von Grund aus gewandelt. Die Kraft, über die der Einzelne verfügt, hat sich vertausendfacht, seitdem in der Dampfmaschine und ihren jüngeren Verwandten, dem Otto- und Dieselmotor, die Umwandlung chemischer Energie in mechanische Arbeit in größtem Maßstabe gelungen ist. Die dadurch bedingten Umwälzungen im menschlichen Dasein sind mit die tiefgreifendsten Änderungen, die die Chemie zustande gebracht hat. Dem Laien kommt gewöhnlich nicht zum Bewußtsein, daß unsere heutige Technik, deren unentrinnbaren Eingriff in sein Leben er doch deutlich genug verspürt, fast ausschließlich chemische Energiequellen besitzt. Man reiße die Kohlen aus den Kesselfeuerungen und lasse den Strom von Öl versiegen, so wird sich dort Todesstille verbreiten, wo eben noch lärmendes, pulsierendes Leben herrschte. Denn rund 80% der Weltenergiegewinnung entfallen auf Erdöl und Kohle, rund 13% auf Holz und nur 7% auf die Wasserkräfte. Der Anteil der letzteren wäre noch geringer, wenn nicht die Eigenschaften des elektrischen Stromes die Möglichkeit einer Übertragung und passenden Verteilung der Energie eröffnet hätten, so daß die Arbeitsleistung eines Wasserfalls Hunderte von Kilometern von ihrem Ursprung entfernt zur vollen Wirkung kommen kann.

Alle Energiearten entstammen letzten Endes der Sonne. Erdöl und Kohle müssen wir als vor Jahrmillionen gespeicherte Sonnenenergie ansehen; diese Rohstoffe sind einmalig und nach ihrem Verbrauch verloren. Holz wird zwar unter dem Einfluß des Sonnenlichts dauernd neu gebildet; aber es wird Raubbau getrieben, da dreimal mehr Wald geschlagen wird als nachwächst. Im übrigen ist Holz ein so vielseitig verwendbares Material, daß seine Benutzung für Feuerungszwecke zu verwerfen ist. Da Erdöl, Kohle und Holz 93% der gegenwärtigen Energieerzeugung decken und nur der Rest auf die von der Sonne dauernd zufließende Strahlung in Form von Wasserkraften kommt, gefällt sich die Menschheit in der Rolle eines Verschwenders, der sein ererbtes Kapital vergeudet und nicht von den Zinsen zu leben versteht. Der Ausbau der Wasserkräfte, die auf einem Umweg eine ständige Nutzung der Sonnenenergie gestatten, ist jedenfalls ein dringendes Gebot. In Europa stehen noch erhebliche ungenutzte Vorräte an „weißer Kohle“, viel größere in Asien zur Verfügung. Das größte Wasserkraftreservoir der Welt ist Afrika, und dieser Umstand kann gerade für Europa einmal entscheidend lebenswichtig werden. Gegenüber der indirekten Möglichkeit, die Sonnenenergie in Form von Wasserkraften auszunutzen, treten die im Winde, dem Temperaturunterschiede der Meeresströmungen, den Gezeiten und der Erdwärme tätigen Äußerungen der Naturkräfte an Bedeutung zunächst noch ganz zurück.

Unsere gesamte Energiewirtschaft basiert also zuletzt auf der Sonne. Wir werden damit zu der Frage geführt, woher die ungeheure Energiemenge eigentlich stammt, die scheinbar unerschöpflich aus dem himmlischen Glutball hervorströmt und von der nur ein winziger Bruchteil dem irdischen Leben zugute kommt? Verschiedene Zeiten haben diese Frage verschieden beantwortet, eine wirklich befriedigende Lösung hat aber erst die Chemie der Atomkerne in den letzten Jahren gebracht. Danach muß sich auf der Sonne in größtem Maßstabe eine kernchemische Kettenreaktion vollziehen, bei der 4 Atome Wasserstoff in Helium verwandelt werden. Das entstehende Heliumatom ist nun etwas leichter als der Ausgangswasserstoff. Der bei der Reaktion zwangsläufig verschwindende Massenanteil liefert die Wärmetönung der Umsetzung und heizt die Sonne. Während alle früheren Theorien über den Ursprung der Sonnenenergie zu Widersprüchen führten und vor allem ein zu kleines Alter des Gestirns lieferten, sind derartige Schwierigkeiten jetzt überwunden.

Die Bedeutung dieser Erkenntnis kann in zweierlei Hinsicht überhaupt nicht hoch genug veranschlagt werden. Sie bereichert zunächst unser Wissen vom Aufbau der Welt, indem die spektralanalytischen Beobachtungen durch konkrete Vorstellungen ergänzt werden, wie die Gestirne zu der gegenwärtigen Zusammensetzung gekommen sind und welche Entwicklungsreihe die Materie dabei durchlaufen hat. Weiter ergibt sich die Aufgabe, zu untersuchen, ob die in der Sonne sich abspielenden Prozesse oder wenigstens ähnliche kernchemische Vorgänge nicht in unseren irdischen Laboratorien nachgeahmt werden können. Damit würden Energiemengen verfügbar werden, gegen die die gewaltigsten Anlagen, über die die Menschen heute verfügen, zum Spielzeug herabsinken müssen. Der schier unersättliche Energiehunger unserer Zeit dürfte durch die so entfesselten Energien, die nicht wie chemische Reaktionen nach Hunderten von Kilokalorien, sondern nach Millionen und darüber zählen, wohl gestillt werden. Deshalb ist das angedeutete Problem in verschiedenen Kulturländern Gegenstand einer ernsten und eingehenden Prüfung.

Es ist müßig, sich die Zukunftsvision einer übertechnisierten Menschheit auszumalen, die über die Hilfsmittel solcher Kernmaschinen gebietet. Jeder Naturforscher weiß, daß das Glück der Menschen nicht von der Beherrschung der Naturkräfte abhängt. Für ihn werden heute und in Zukunft die Worte Geltung behalten, die ein Präsident unserer Akademie, Justus v. Liebig, an den Anfang einer seiner Ansprachen gesetzt hat:

„Die Geschichte der Naturwissenschaft belehrt uns, daß unser Wissen von den Dingen und Naturerscheinungen zum Ausgangspunkt die materiel-

len und geistigen Bedürfnisse des Menschen hat und durch beide bedingt wird.“

In unseren Tagen ist den Naturwissenschaften wegen der Befriedigung der materiellen Bedürfnisse, die sie gewähren, ein Lebensrecht wohl zugestanden worden. Aber die Frage der Anwendung seiner Entdeckungen ist für jeden echten Naturwissenschaftler nur die eine Seite seines Berufes, der er selbst gewöhnlich gar nicht nachgeht und mit der allein der Sinn der Forschung für ihn nicht genügend bezeichnet ist. Er beansprucht wegen der praktischen Auswirkung seiner Tätigkeit keine Sonderstellung im Kreise der übrigen Wissenschaften, die man insgesamt nur bejahen oder verneinen kann. Seine Beschäftigung mit der Natur entspringt zuletzt dem faustischen Drang nach Erkenntnis zur Stillung geistiger Bedürfnisse. Darin hat sich für den Menschen nichts geändert, ob er vor Jahrtausenden bereits den Gang der funkelnden Gestirne in klarer Nacht betrachtete oder ob er heute, ein neuer Prometheus, die innere Ursache ihrer Glut erkennt und abermals das himmlische Feuer zur Erde holt.