

484

BAYERISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

---

WALTHER GERLACH

Die Forschungsmethoden  
der Physik

geistesgeschichtlich betrachtet

FESTREDE

MÜNCHEN 1959

VERLAG DER BAYERISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

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

DIE FORSCHUNGSMETHODEN  
DER PHYSIK

GEISTESGESCHICHTLICH BETRACHTET

FESTREDE

zum Zweihundertjährigen Jubiläum  
der Bayerischen Akademie der Wissenschaften  
in München

gehalten in der Öffentlichen Sitzung

vom 21. November 1959

von

WALTHER GERLACH

MÜNCHEN 1959

VERLAG DER BAYERISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

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

Meine Damen und Herren!

Ἄγεωμέτροτος μηδεὶς εἰσὶτω,  
οὐκ ἔχεις τὰς λαβὰς τῆς φιλοσοφίας

„Nicht-Mathematiker haben keinen Zutritt;  
denn sie dringen nicht zu den Wurzeln  
der Erkenntnis.“

Diese Worte, gleichsam eine Zulassungsbeschränkung, die am Eingang der Akademie von Athen gestanden haben sollen, legen wir nicht in dem Sinn aus, die Geisteswissenschaftler hätten nichts in der Akademie zu suchen: – daß ein der exakten Naturwissenschaften Beflossener den Auftrag erhalten und übernommen hat, zu den Gästen und den Freunden der Akademie, vor ihren auswärtigen und einheimischen Mitgliedern aus allen Fakultäten in dem Jubiläums-Festakt der Bayerischen Akademie der Wissenschaften über ein Problem seines Faches zu sprechen, zeigt ebenso wie die neuere Geschichte unserer und auch anderer wissenschaftlicher Akademien, daß wir in dem Ringen um Erkenntnis keinen wertenden Unterschied machen zwischen verschiedenen Erkenntnisbereichen und verschiedenen Erkenntnismethoden – wenn sie nur dem übergeordneten Prinzip „Wissenschaft“ entsprechen.

Wir wissen, daß diese Gleichberechtigung nicht zu allen Zeiten und nicht in allen Kulturkreisen, nicht in allen weltanschaulichen und politischen Ideologien geachtet wurde und geachtet wird, weil sie Unabhängigkeit von allen wie auch immer gearteten und begründeten Interessen und unvoreingenommenes Fragen, Denken, Prüfen und Bekennen voraussetzt. Wenn man diesen – wie wir glauben – in Vollkommenheit und Endgültigkeit uns überlieferten Grundgedanken wiederholen muß, damit er den sich

mehrenden Forderungen nach der Erfüllung gegenwartsbedingter Aufgaben nicht erliege, – wir werden wohl bald eine Denkschrift für reine Forschung brauchen! – daß er lebendig bleibe und für die Zukunft der Menschen den gleichen Nutzen bringe, den unsere Gegenwart ihm verdankt, so kann man ihn getrost auch in den Worten eines alten Meisters aussprechen:

„Denn das ist eben wahres Zeichen der Wissenschaft, daß sie ihr Netz auswerfe nach allseitigen Ergebnissen und jede wahrnehmbare Eigenheit der Dinge hasche und der zähesten Prüfung unterwerfe, gleichgültig was zuletzt daraus hervorgehe.“

Ἄγεωμέτροτος μηδεὶς εἰσίτω – wir wollen es etwas freier übersetzen: Nur dem Fachmann wird das Tor der Akademie geöffnet. Wenn Plato dieses meinte, so tat er wohl daran für alle Zeiten. Denn ein Fremder möchte wohl staunen über das, was er in den Arbeitsräumen und den Sitzungen hören und erleben würde. Aber man soll ja auch im Theater nicht hinter die Kulissen oder in die Küche des Gastgebers sehen.

Nicht nur Erscheinungen, die der Eingeweihte – je nach seiner Denkweise – für unsere Lebensformen als zu rückständig oder für die eigentliche wissenschaftliche Aufgabe als zu fortschrittlich-luxuriös kritisiert oder mit einem „da kannst nix mache“ zur Seite schiebt – auch das was *wir* als das wissenschaftliche *Leben* der Akademie bezeichnen und schätzen, möchte dem Laien vielleicht gar wenig lebendig erscheinen. Das gilt aber schon bis zu einem gewissen, oft gar nicht unbedenklichen Grade, wenn Geistes- und Naturwissenschaftler sich gegenseitig in ihre Küchen sehen. *Es wird zu einer Gefahr für die Kultur*, wenn das Vertrauen der Völker die Wissenschaft nicht mehr trägt, weil das generell falsch beurteilt wird, was im einzelnen nicht mehr beurteilt werden kann: der höhere Sinn der Spezialarbeit, der vielen getrennten Forschungswege zu dem gleichen Ziel: ἔχειν τὰς λαβὰς τῆς φιλοσοφίας.

Sich selbst immer wieder darüber klar zu werden, dann andere in Wort und Schrift darüber zu unterrichten, sollte eine bedeu-

tungsvolle Aufgabe des Forschers sein, der er nicht genug Aufmerksamkeit widmen kann. Es müssen hierzu von Zeit zu Zeit Berichte oder – um in unserem Bilde zu bleiben – Gerichte bereitet werden, nicht zu schwer, nicht zu viel, von jedem verdaubar – aber gewürzt mit einigen Kostbarkeiten der eigenen Erkenntnis. Wenn sie verstehen lassen, wie in den *geisteswissenschaftlichen* Bereichen eine neue Wurzel unserer Kultur freigelegt, auf welche Weise sie gepflegt werden muß und welche Bereiche sie nähren kann – wie in den *Naturwissenschaften* eine neue tiefere Einsicht in unsere Welt zu einer neuen Stellung zu unserer Welt führt und gar eine neue Entwicklung der Menschheit einleitet – so mag solches auch die Hoffnung stärken, daß das in den Geisteswissenschaften so viel liegende verborgene Gift und der mit den Erkenntnissen der Naturwissenschaften zu treibende Mißbrauch nicht all das mühsam Errungene wieder vernichtet.

Vielleicht könnte sich so auch der von Zeit zu Zeit in Festreden gepflegte, aber eigentlich unfruchtbare Streit über die Einheit der Wissenschaft und ihren beklagenswerten Zerfall in Spezialitäten erledigen mit der Einsicht, daß die Einheit nicht in einem alles erfassenden Wissen, sondern in der gegenseitigen Beachtung der Forschungsgedanken besteht, damit ihre wechselseitige Ergänzung und Befruchtung erkannt und genutzt wird.

Die Naturwissenschaften haben – wie mir scheint – bisher hierbei eine besondere Aufgabe. Wenn Jakob Grimm vor über 100 Jahren in seinem Vortrag „Über den Ursprung der Sprache“ in der Berliner Akademie spezielle naturwissenschaftliche Frageweisen als beispielhaft für eine neue geisteswissenschaftliche Forschungsrichtung aufzeigt, so hat seitdem insbesondere die Physik eine Entwicklung genommen, welche in vielen anderen Bereichen der Wissenschaft zu neuen Problemstellungen führte und führen wird. Nur mit einer Einsicht in ihre Forschungsmethode, – nicht in spezielle Arbeitsverfahren – können die Ergebnisse richtig verstanden und für die Entwicklung einer allgemeinen Erkenntnistheorie richtig gewertet und genutzt werden.

Daher sollte ein Naturwissenschaftler in einer öffentlichen Feierstunde der Akademie nicht durch Darlegung neuester Ent-

deckungen ein Staunen des fachfremden Zuhörers hervorlocken, dessen Form nur seine Auffassung von allgemeiner Höflichkeit oder kollegialer Rücksichtnahme zeigt, als vielmehr sich bemühen einige der allgemeinen Prinzipien seines Wissenschaftsbereiches dem nahe zu bringen, der nicht in ihm tätig ist, orientiert an dem, was er mit Stolz die Frucht seiner Arbeit nennt: an Tatsachen. Und wenn er zugleich einen Beitrag zu der Feier des 200jährigen Geburtstages der Bayerischen Akademie der Wissenschaften leisten soll, so schien es sinnvoll zu überdenken, wie sich diese Prinzipien in der Arbeit unserer Akademie, in ihren besonderen, sich selbst gestellten Aufgaben spiegeln.

So sollen drei ihrer naturwissenschaftlichen Kommissionen uns die Leitlinien liefern: die Kommission für die Herausgabe der Werke des Johannes Kepler, die Kommission für Tieftemperaturforschung, die Wendelstein-Kommission.

Zwar haben die drei Aufgaben mit Bayern nichts zu tun – abgesehen davon, daß der Wendelstein zufällig in Bayern liegt (oder daß das Sonnenobservatorium zufällig auf dem Wendelstein liegt, was der Wendelsteinbahn zu verdanken ist). Die Pflege dieser drei Unternehmen durch die Bayerische Akademie ist somit ein besonderes Zeichen für ihre *übernationale* Wissenschaftspflege.

\* \*  
\*

Unser *erstes* Beispiel ist die Herausgabe des Gesamtwerks von Johannes Kepler, also eine Edition durch die naturwissenschaftliche Klasse. Daß viel – aber keineswegs ausschließlich – Mathematik, Astronomie und Physik in ihm enthalten ist, kann kaum allein hierfür entscheidend sein, zumal das vielbändige Werk auch die Briefe aus der persönlichen Sphäre seines Lebens enthält. Auch sind Begriffe wie *δύναμις* und *ἐνέργεια*, mit denen er sich so lange quält, oder die Galileische Trägheit, mit der er sich nicht befreunden konnte, längst geklärt; und selbst die in so un-

erhörter Gedankenarbeit erkannten Keplerschen Gesetze der Planetenbewegung um die Sonne leitet man schon knapp 100 Jahre später aus Newtons Gravitationsgesetz in wenigen Zeilen ab. Der Grund ist, daß Kepler – ebenso und doch wieder anders als der gleichaltrige Galilei – um 1600 die geistigen Grundlagen für die neue Naturwissenschaft schuf, daß er ihre so fruchtbare neue Denkart begründete und eine für den Wissenschaftler – wie wir hoffen – für alle Zeiten beispielhafte menschliche Haltung in den aus den neuartigen Erkenntnissen sich ergebenden Schwierigkeiten und Widerwärtigkeiten zeigte. Denn was Kepler dachte, bedeutete einen vollkommenen Bruch mit der Denkweise der herrschenden Mächte, viel tiefer und entscheidender als die neue Bearbeitung des heliozentrischen Systems des Aristarch durch Kopernikus.

Schon 1596 heißt es in einem Widmungsblatt zu dem *Mysterium cosmographicum*: der Geist sei uns Menschen neben den Sinnen gegeben, „daß wir vom Sein der Dinge, die wir mit Augen betrachten, zu den *Ursachen* ihres Seins und Werdens vordringen“, also die Grenzen dessen was uns durch unsere Sinne zugänglich ist, überschreiten. In der rationalen Erforschung der Welt erkennt Kepler keine Grenzen an; in seiner Art weist er die damals jedem Fortschritt sich entgegenstimmenden dogmatisch-religiösen Gegengründe zurück: „Die Ratschlüsse Gottes sind unerforschlich, nicht aber seine körperlichen Werke“; und mit Schärfe lehnte er das Verhalten der Philosophen ab, welche bei naturwissenschaftlichen Fragen das Urteil der Autorität über die Gründe des Verstandes stellen.

Die Frage der Grenzen der Naturerkenntnis stellt sich seit Kepler der Naturforschung dauernd, heute mehr denn je; und jede Zeit sucht wie Kepler nach einer Antwort, die oft in das Metaphysische abgeleitet. Wir möchten die Antwort, die Goethe gab, für die dem Naturwissenschaftler einzig zukommende halten. „Unsere Meinung ist, daß es den Menschen gar wohl gezieme, ein Unerforschliches anzunehmen, daß er dagegen aber seinem Forschen keine Grenzen zu setzen habe.“ Ein anderes Mal fügt er hinzu: „Bei dem Urphänomen sich mit verehrender

Resignation zu begnügen, ist oft angeraten worden. Allein da tritt uns die Schwierigkeit entgegen: *wo* ruht denn eigentlich das Urphänomen, daß wir unsere Forschung dabei könnten beruhen lassen?“

Und im letzten Brief an Wackenroder steht: wenn es dem Menschen „ernst ist“, kann er „doch nicht von dem Versuch absteigen, das Unerforschliche in die Enge zu treiben“, weil stets die Hoffnung bleibt, daß die Natur gelegentlich und wider Willen manches von ihren Geheimnissen ausplaudere – gesagt habe sie alles einmal, wir müßten einfach suchen, wo sie das Wort hat fallen lassen.

Kepler stieß bei seiner unabhängigen, unvoreingenommenen Prüfung feststehender Dogmen und der Begründung der ihnen widersprechenden Ergebnisse mit den herrschenden Mächten zusammen. Mehrfach wurden seine Schriften verboten; aber er überwand die Sorgen; das Streben nach Erkenntnis und der innere Zwang, als wahr Erkanntes zu veröffentlichen überwogen. Nach dem Erscheinen des *Mysterium cosmographicum* schreibt ihm Galilei, er sei auch zu gleichen Anschauungen über das Werk des Kopernikus gekommen, habe aber „bisher noch nichts zu veröffentlichen gewagt, abgeschreckt durch das Schicksal des Kopernikus selbst“; denn „von unendlich vielen wird er verlacht und ausgepiffen“. Kepler antwortet: Galilei wolle also „wie Platon und Pythagoras“ „vor der allgemeinen Unwissenheit weichen und sich nicht leichtfertig den wütenden Angriffen des Gelehrtenhaufens aussetzen“. „*Allein . . . wäre es doch wohl besser, durch gemeinsames Einstehen den einmal in Gang gebrachten Wagen ans Ziel zu reißen . . . Auch wir in Deutschland machen uns in keiner Weise beliebt . . . Seid guten Mutes, Galilei, tretet hervor.*“

Kepler trat hervor und überschritt damit die zweite Grenze, die *Grenze* des von der öffentlichen Meinung „Erlaubten“, weil er in tieferem Wissen die moralische Pflicht hierzu sah.

Unvoreingenommen und unbeirrt in der Verfolgung des als richtig erkannten Weges, auch gegen die fachliche Autorität eines Tycho Brahe und auch gegen politischen und religiösen Zwang, nimmt er stolz alle Widerwärtigkeiten in Kauf – und bleibt auch gleichgültig gegen die Verkennung. „Wohlan“ – schreibt er zu einem seiner letzten, dem problemreichsten und problematischsten Werke „Harmonice mundi“ – „ich werfe den Würfel und schreibe ein Buch für die Gegenwart oder die Nachwelt. Mir ist's gleich. Es mag 100 Jahre seines Lesers harren; hat doch auch Gott 6000 Jahre auf den Entdecker gewartet.“

Auch in der wissenschaftlichen Arbeitsweise überschreitet Kepler die damaligen Grenzen des naturwissenschaftlichen Denkens und leitet damit eine fortdauernde Entwicklung ein. Sein astronomisches Werk enthält die Grundlegung der Himmelsmechanik, der ersten Stufe dessen, was wir heute Astrophysik nennen. Kopernikus war nach Keplers Formulierung noch ganz „more Ptolemaico mutatis mutandis“ vorgegangen. Ein schon in der Astronomie des Altertums eine große Rolle spielender, heute in der Naturwissenschaft noch geltender Gedanke, daß eine Theorie um so mehr an Wahrscheinlichkeit gewinne, mit je einfacheren Mitteln sie die Erscheinungen erklärt, erhält bei Kopernikus die weltanschaulich-religiöse Formulierung, Gott schaffe nur in ihrer Einfachheit vollkommene Dinge und deshalb müßten die Planetenbahnen Kreise sein. Kepler sprengt den Rahmen der auch von ihm verfolgten geometrisch-kinematischen Betrachtungsart und fragt nach den im Sonnensystem wirkenden *physikalischen Kräften*, welche zu der Planetenbewegung um die Sonne, zu der Mondbewegung um die Erde führen. Die Kraft, die von der Sonne ausgeht, läßt die Planeten im freien Raum ihre Bahnen ausführen. Bei der Prüfung der Folgerungen aus dieser Dynamik des Sonnensystems entwickelt er die Theorie von Ebbe und Flut und verbindet sie folgerichtig mit dem Vorgang des freien Falls, wobei er zu der, für die damalige Zeit unerhörten Folgerung kam, daß nicht nur die Erde den fallenden Stein, sondern der Stein auch die Erde anzieht und daß sich ihre Anziehungskräfte und deren Wirkungen wie ihre Massen verhalten; ja

er überlegt schon, ob man auch aus der Richtung der Schwerkraft an verschiedenen Stellen der Erde deren Form bestimmen kann: *Himmelsphysik*, die Erforschung der *natürlichen*, der *physikalischen* Ursachen nennt Kepler diese neue Forschungsart.

Mästlin schreibt ihm: „ich glaube aber, daß man hier die physikalischen Ursachen ganz aus dem Spiel lassen und Astronomisches nur nach astronomischen Methoden mit Hilfe von astronomischen, nicht physikalischen Ursachen und Hypothesen erklären soll“. Wir wissen wie sehr Kepler recht hatte, als er Astronomie und Physik verband, „daß (mit seinen Worten) keine ohne die andere Vollkommenheit erreichen kann“ – damit die Gleichheit der Naturgesetze in der ganzen Welt postulierend und soweit damals möglich beweisend. Die Prüfung der Anwendbarkeit der Physik auf andere Forschungsbereiche ist uns heute selbstverständlich geworden, ich brauche nur an Geophysik, Psychophysik, Aerophysik, Biophysik zu erinnern. Keplers Art, alle seine Gedanken niederzuschreiben, jedes Problem von allen Seiten anzugreifen, die herkömmliche Denkweise mit der neuen in ihrer Art und in ihren Folgerungen konfrontierend, ist eine Aufforderung an uns, auch die spätere Entwicklung in gleicher Weise zu überdenken – wie weit die Naturwissenschaft ein Kind ihrer Zeit, wie weit die Zeit ein Kind der Naturwissenschaft ist.

\*

Unser *zweites* Beispiel ist die Kommission für Tieftemperaturforschung.

Man könnte die These aufstellen, daß diese Forschung, insbesondere ihr Weg seit 50 Jahren und ein Großteil ihrer heutigen Probleme gar keine *Naturforschung* im Sinne des Wortes mehr ist; denn sie befaßt sich nicht mehr mit Zuständen, die in der Natur vorkommen: in ihr gibt es kein flüssiges Helium, in ihr gibt es nicht Temperaturen, die nur noch hundertstel oder tausendstel Grad vom sogenannten absoluten Nullpunkt entfernt

sind und deshalb a fortiori auch nicht die in dem Tieftemperaturbereich untersuchten Eigenschaften unserer Materie.

Die in der Natur vorkommenden extremen Bedingungen, wie die hohen Temperaturen der Fixsterne, die niederen Drucke des Weltenraums, die enormen Energien von Elementarteilchen der natürlichen Kosmischen Strahlung bemüht man sich im Laboratorium herzustellen, zumindest einigermaßen zu erreichen – und warum? Um Gesetzmäßigkeiten auch bei anderen als den irdischen Zuständen zu suchen und auf diese Weise über das Verständnis außerirdischer Naturvorgänge auch die irdischen besser, genereller zu verstehen.

Warum stellt man aber *künstliche*, der Natur fremde Versuchsbedingungen her? Die in unserer Natur gegebenen Begrenzungen zu durchbrechen, eine Welt kennenzulernen, in welcher ganz andere Bedingungen herrschen, ist an sich ein typisches, in vielen Variationen auftretendes Verlangen jeder Naturforschung.

Ausgangspunkt für das Erstreben und die Herstellung tiefer Temperaturen war die Erfahrung, daß fast alle Materie bei hohen Temperaturen gasförmig, bei mittleren flüssig, bei tieferen kristallisiert ist (– was hohe, was tiefe Temperatur ist, hängt von der speziellen Materie ab! Für das Wasser sind Temperaturen unter  $0^{\circ}\text{C}$  tief, weil es dann zu Eis kristallisiert ist, für Platin ist noch  $1700^{\circ}\text{C}$  eine tiefe Temperatur –). Aber einige wenige Körper wie Luft und Wasserstoff blieben bei allen herstellbaren Temperaturen Gase. Können diese überhaupt nicht verflüssigt und/verfestigt werden, gibt es permanente Gase? Der naheliegende Versuch, die dünnen Gase durch hohen Druck bis zur Dichte der Flüssigkeiten zu komprimieren, lieferte keine Verflüssigung der Luft; immerhin fand man, daß andere Gase, wie Chlor oder Kohlendioxyd sich durch hohen Druck verflüssigen ließen, wenn man nur unter einer bestimmten Temperatur blieb. So wird Kohlendioxyd –, gewöhnlich Kohlensäure genannt – oberhalb  $31^{\circ}\text{C}$  – seiner „kritischen Temperatur“, wie man sagt – niemals flüssig. Wenn sich also Luft und Wasserstoff überhaupt verflüssigen lassen, so müßte man sie offenbar auf noch tiefere Temperaturen bringen, als man herstellen konnte – das war seit Michael

Faraday, der sich in den zwanziger Jahren des letzten Jahrhunderts erfolgreich mit der Verflüssigung vieler Gase befaßte, bis 1877 rund  $-100^{\circ}\text{C}$ .

Wie soll man diese unterschreiten – ist das überhaupt möglich, wenn es nichts kälteres auf unserer Erde gibt? Nun nimmt man ein anderes Forschungsprinzip zu Hilfe: die Extrapolation von Gesetzmäßigkeiten auf Zustandsbereiche, bei welchen sie nicht geprüft oder nicht prüfbar sind.

Man hatte bei Gasen schon vor 250 Jahren ein äußerst einfaches Gesetz gefunden: schließt man eine Gasmasse in einem Gefäß ein und verkleinert dann durch Druck dessen Volumen bei irgendeiner Temperatur, so ist das Produkt Volumen mal Druck konstant. Ändert man die Temperatur, so wird das Produkt mit abnehmender Temperatur kleiner und würde den Grenzwert Null erreichen, wenn man auf  $-273^{\circ}\text{C}$  abkühlen könnte; das hat man den „absoluten Nullpunkt“ genannt – zunächst eine rein extrapolatorische Größe, bei welcher das Volumen des Gases Null würde.

Eine überaus große Einfachheit wie die dieses Gasgesetzes reizt den Physiker zur Prüfung, *wie* genau es gilt. Man fand bei Kohlendioxyd kleine Abweichungen, die größer wurden, wenn man sich dem Verflüssigungszustand näherte, und bei Luft gleichartige, jedoch ganz minimale Abweichungen, die mit tieferer Temperatur etwas anstiegen. Wieder folgerte man: bei *genügender* Kälte wird sie *wohl* flüssig werden.

Mittlerweile hatte die mathematische Formulierung der Wärmegesetze, die Thermodynamik zu einer theoretischen Folgerung geführt: wenn man ein Gas hohen Druckes plötzlich entspannt, so muß es sich abkühlen; die Prüfung jeder theoretischen Konsequenz ist wieder ein Prinzip der Physik; ihr Ergebnis ist der berühmte Effekt von William Thomson (Lord Kelvin) und John Prescott Joule von 1853, daß man die Temperatur eines Gases *durch einen physikalischen Vorgang* senken kann, ohne einen kälteren Körper zur Abkühlung desselben zu benützen.

1877 gelang auf diese Weise Cailletet in Paris und bald darauf Pictet in Genf mit einer schon hochentwickelten Apparatur die erste Luftverflüssigung. 1895 führte Richard Linde in München

die erste technische Anlage vor, 1898 verflüssigte Dewar in London den Wasserstoff und 1908 Kamerling-Onnes in Leiden das edelste Edelgas, das Helium bei einer Temperatur von  $-269^{\circ}\text{C}$  oder  $4^{\circ}$  oberhalb des absoluten Nullpunktes; bei erzwungener heftiger Verdampfung *im* luftverdünnten Raum kühlte es sich auf  $1^{\circ}$  ab.

Dies schien lange die unterste Grenze der erreichbaren Temperatur – bis man eine auf einem ganz anderen Gebiet und in ganz anderem Temperaturbereich gewonnene Erfahrung und eines der uneingeschränkt gültigen, von allen speziellen Bedingungen und Vorstellungen unabhängigen Gesetze heranzog. Dieses Beispiel – eines für viele! – mag illustrieren, wie die Physik einen scheinbar unzugänglichen Bereich erschließt; es handelt sich dabei keineswegs wie man leicht meinen könnte, um einen Analogieschluß: eine relativ kleine Abkühlung bei der Aufhebung einer durch ein starkes Magnetfeld erzwungenen inneren Magnetisierung wurde in dem hohen Temperaturbereich gefunden, in welchem ferromagnetische Metalle an sich schon „unmagnetisch“ sind. Sie konnte sowohl molekular gedeutet – Übergang einer erzwungenen Ordnung in die natürliche Unordnung – als auch mit dem II. Hauptsatz der Thermodynamik theoretisch verstanden werden. Da paramagnetische Salze bei tiefen Temperaturen durch hohe Magnetfelder nach einer sehr sicheren, experimentell geprüften Extrapolation in einen entsprechenden molekularen Ordnungszustand gebracht werden, muß für die Erreichung, die Veränderung und die Aufhebung desselben der gleiche thermodynamische Hauptsatz gelten. Wird also ein solches unter einem Magnetfeld stehendes Salz im Heliumbad auf  $1^{\circ}$  abs. abgekühlt und dann das Magnetfeld plötzlich aufgehoben, dann kühlt es sich und das Helium und eine mit ihm verbundene zu untersuchende Substanz ab. So ist man heute bis auf tausendstel Grad an den absoluten Nullpunkt herangekommen – aber man wird ihn niemals erreichen. Er ist nicht eine „Grenze“, sondern ein grundsätzlich unerreichbarer Zustand.

Es ist schon ein großer Erkenntnisgewinn, daß alle Materie in allen drei Aggregatzuständen – die flüssigen Phasen von Luft,

Wasserstoff und Helium können auch kristallisieren – möglich ist. Aber die Tieftemperaturforschung hat noch andere Aspekte.

Ein Prinzip der physikalischen Forschung ist das *Suchen nach Beziehungen*: wie ändert sich z. B. eine Materialeigenschaft, wie der Ablauf eines Vorgangs, – was „passiert“, wenn man die Temperatur oder den Druck ändert oder Bestrahlung irgendwelcher Art oder magnetische Felder und dergl. mehr hinzufügt?

Wenn man etwa die atomistische Auffassung zugrunde legt, daß die Materie aus Atomen besteht, welche in dauernder Bewegung sind, welche in den Molekülen gegeneinander schwingen und umeinander rotieren, so kann man alle möglichen Veränderungen bei zunehmender Temperatur und auch dabei neu auftretende Erscheinungen einheitlich durch *eine* Annahme deuten, daß mit zunehmender Temperatur die Energie dieser atomaren und innermolekularen Bewegungen größer wird. Dann bedeutet tiefe Temperatur, daß diese kleiner wird, daß also etwa im festen Körper, im Kristall die regelmäßige Anordnung der Atome vollkommener sein muß, als bei höherer Temperatur, bei welcher sie um den ihnen zukommenden Platz hin- und hertanzen. Die Materie kommt innerlich zur Ruhe und damit werden in ihr ablaufende, in ihr von außen angeregte Reaktionen durch die atomare Unruhe weniger oder nicht mehr gestört. Man lernt bei tiefer Temperatur Grundphänomene der *ungestörten Materie* kennen und versteht ihr Verhalten bei höherer Temperatur, wenn man die Änderung aller Phänomene bei gerade entstehender und dann zunehmender molekularer Unruhe verfolgt. Hierin ist der Erkenntnisgewinn durch die Ausdehnung jener Beziehungserforschung in den Bereich tiefster Temperaturen bedingt – denn fast aller Fortschritt kommt durch neue, wenn auch oft im Anfang dunkle Beziehungen. –

Dieses systematische Suchen nach ihnen wird vielfach falsch verstanden; es führt – falsch angewendet – zu jenem Beziehungswahn, der uns bei irregeleiteten Erfindern, aber auch in wissenschaftlichen Kreisen reichlich oft begegnet und in Erdstrahlungsforschung und Astrologie noch immer fröhliche Urständ feiert.

Daß die extensive physikalische Forschung oft einen guten Schuß Romantik hat, soll weder bestritten, noch gar kritisiert werden; aber der Außenseiter weiß nicht, wie viele solcher Gedankenversuche im Papierkorb landen und welche experimentellen und theoretischen Kontrollen durchgeführt werden, bis eine Idee erst einmal diskussionsreif ist. Der sogenannte gesunde Menschenverstand kann in naturwissenschaftlichen Fragen kein Ja und kein Nein sagen, denn er basiert auf dem Althergebrachten, Alten; und gleiches gilt für die oft kritisierte Stellung der Schulphilosophie zur Physik. –

Nur kurz erwähnt seien zwei unvorhersehbare Entdeckungen im Tieftemperaturgebiet: – das ist der Lohn für aufmerksames Schweifen in unbekanntenen Regionen. – Die *Supraleitfähigkeit* vieler – nicht aller! – Metalle ist ihre Eigenschaft unterhalb einer sehr tiefen Temperatur keinen elektrischen Widerstand mehr zu haben. Ein in einer solchen Spule einmal erregter elektrischer Stromstoß bleibt als Dauerstrom für alle Zeit erhalten. Das supraleitende Metall wird durch den Strom nicht warm, mit ihm kann man bei tiefen Temperaturen keinen elektrischen Ofen und keine Glühlampe machen. Das wurde 1911 entdeckt und ist bis heute noch nicht zufriedenstellend geklärt. Aber – und das ist wieder ein typischer Gesichtspunkt – von großer Wichtigkeit für unser Wissen über den festen Zustand ist *schon heute* der Vergleich der Eigenschaften der Metalle, welche supraleitend und welche nicht supraleitend werden, ist die Untersuchung der Faktoren, welche die Supraleitfähigkeit aufheben.

Sodann die *Superfluidität* des Heliums – das soll nicht heißen, daß es „überflüssig“ ist, sondern daß es sich nicht mehr wie eine normale, sondern wie eine „Überflüssigkeit“ verhält: gießt man flüssiges Helium bei etwa  $3^{\circ}$  abs. in ein Glas, so läuft es über den Rand wieder hinaus – u. a. Zaubereien mehr!

Wie stellt man denn aber alle diese Dinge fest? Nach einem anderen Prinzip, das wir die ganze Zeit schon benutzen und das nun an der Tieftemperaturforschung doch noch erläutert sei: die Verwendung von Apparaten. Wenn wir sagten, daß man mit Präzisionsmessungen das Gasgesetz prüfte, so braucht man dazu

Meßinstrumente, welche unsere Sinne in quantitativer Beziehung erweitern; denn diese können nur wärmer oder kälter, schwerer oder leichter, heller oder dunkler usw. sagen. Eine Erweiterung anderer Art durch Apparate ist die Ausdehnung über die unseren Sinnen gesteckten Wahrnehmungs- und Unterscheidungsgrenzen hinaus. Unser Gewichtsgefühl versagt bei Atomen und versagt bei Tonnen. Unser Auge kann kleine Unterschiede in der Helligkeit oder der Farbe erkennen, wenn die Lichtintensität nicht zu groß ist; sonst wird es geblendet und sieht überhaupt keine Unterschiede mehr. Das Wärmegefühl reagiert auf tiefe und hohe Temperaturen gleichartig – man kann nicht unterscheiden, ob ein Tropfen flüssige Luft von  $-190^{\circ}$  oder von kochendem Wasser von fast  $+100^{\circ}$  auf die Hand spritzt (und nachher gibt *beides* Blasen!). Es gibt aber noch eine *dritte Erweiterung* unserer Sinne durch Apparate: ihre Verwendung zur Entdeckung und sogar zur quantitativen Messung von Vorgängen, für welche der Mensch überhaupt kein Organ, zumindest kein spezifisches Organ hat. Solche Apparate kann man als Transformatoren bezeichnen, welche nicht wahrnehmbare Vorgänge aufnehmen und in solche umwandeln, welche unseren Sinnen zugänglich sind.

Diese höchst interessanten, letztlich erkenntnistheoretischen Fragen zu behandeln, würde schon den Rahmen eines nur diesem Thema gewidmeten Vortrags sprengen. Wir müssen uns auf *eine* Frage aus der Tieftemperaturforschung beschränken:

Woher weiß man denn, daß man diese tiefen Temperaturen hat? Thermometer im üblichen Sinn gibt es dafür nicht und doch kennt man sie sehr genau *durch Verwendung eines physikalischen Forschungsprinzips*. Man bestimmt möglichst viele Eigenschaften möglichst vieler Körper und ihre Änderung mit der Temperatur im Bereich der konventionellen Temperaturmessung und ermittelt die in ihm geltenden theoretisch-gesetzmäßigen Beziehungen. Nun führt man die gleichen Messungen bei der unbekannt tiefen Temperatur durch und errechnet diese durch Extrapolation der theoretischen Beziehungen. Dann wird man bei manchen Eigenschaften und Körpern zu gleicher, bei anderen

aber zu anderen Temperaturen kommen. Nun setzt das Kriminalistenspiel ein: man überlegt, warum die eine Eigenschaft, warum der eine Körper bei tiefen Temperaturen nicht mehr die bei höherer Temperatur bestehende Gesetzmäßigkeit befolgen kann, sucht und prüft Hypothesen, Erklärungen für das abweichende Verhalten, findet dabei enger begrenzte Bedingungen, eine schärfere Fassung für das Gesetz – und pirscht sich so allmählich auch an den wahrscheinlich richtigen Wert der tiefsten Temperaturen heran: *die Entwicklung der Meßmethode für einen neuen Bereich der Forschung ist zugleich die Entdeckung der Physik dieses Bereichs.*

Es hat lange gedauert, bis man Zutrauen zu der Naturerforschung mit Apparaten hatte – Goethe nannte sie einmal das größte Unglück der neueren Physik –; die Kritik jeder apparativen Feststellung ist und bleibt in der Tat eine Hauptaufgabe der Physik. – Man hat einmal gemeint, eine echte Erweiterung der Sinne sei nicht möglich, es widerspreche dem Prinzip der Einheit von Mensch und Natur; es müsse alles aus der äußeren Natur eine Entsprechung in der inneren Natur des Menschen finden. Ich brauche nur an das sonnenhafte Auge des Plotin (und seine Diskussion durch Goethe) zu erinnern oder an Keplers anthropomorphe Deutungen der Naturkräfte (z. B. Ebbe und Flut), auf denen letztlich auch seine Überlegungen zur Astrologie beruhen. Eine der seit dem Altertum geheimnisvollen Erscheinungen war die anziehende Kraft, die von dem herakleischen Stein, den Euripides kurz den  $\mu\acute{\alpha}\gamma\eta\eta\varsigma$  genannt haben soll, auf wenige Substanzen wie Eisenerze und Eisen ausgeht und manchen derselben dabei die gleiche Kraft verleiht.

Für die Physik liegen hier heute keine grundsätzlichen Geheimnisse mehr, und es ist klar, warum unser Organismus nicht auf solche magnetische Kräfte reagieren kann. Die Phantasie erfand aber den tierischen Magnetismus, die magnetischen Strahlen, die nur von besonders Begabten ausgehend besondere Wirkungen auf den Organismus ausüben, die magnetischen Heilmethoden, mysteriöse Dinge, die sich bis heute noch erhalten haben, weil eine sinnvolle Physik nicht in der Lage ist, eine sinn-

lose Pseudophysik zu widerlegen – Kant hat mit seiner praktischen Vernunft die einzig mögliche Abwehr gegen solche Erzgeisterserher erkannt; man muß die Magnetiseure so lange magnetisieren lassen, bis sie sich ausmagnetisiert haben. –

\*

Die Wendelsteinkommission für die Erforschung der auf der Sonne ablaufenden Vorgänge sollte unser *drittes* Beispiel sein. In der Sonnenforschung tritt uns die von Kepler eingeleitete Erweiterung der Grenzen der Erkenntnis durch die Verbindung von Physik und Astronomie in neuer Form entgegen. 1859 – vor gerade hundert Jahren – beginnt mit Kirchhoff und Bunsen in Heidelberg diese neue Sonnenforschung durch die bewußte Verwendung der für die Analyse irdischer Strahlungsquellen entwickelten Laboratoriums-Methoden (Emissions- und Absorptionsspektroskopie) zur Untersuchung der Stern- und besonders der Sonnenstrahlung, welche uns heute die Sonne besser kennen läßt, als unsere nur an ihrer Oberfläche zugängliche kalte Erde. Aber hiermit untersucht man nur den Normalzustand der Sonne. Abweichungen vom Normalen, Anomalitäten in irgend einem sonst wohlgeordneten Verhalten sind für die naturwissenschaftliche Forschung viel wichtiger, weil sie Hinweise auf unbekannte Faktoren geben und so zu neuen Problemen führen; aus kleinen Abweichungen im Verhalten der Gase hat sich die Tieftemperaturforschung entwickelt, kleinste Abweichungen im Verhalten der Kathodenstrahlen (bei besonders großer Geschwindigkeit derselben) wurden entscheidend für die Relativitätstheorie, aus kleinsten Abweichungen von einem allgemein erwarteten Ergebnis schlossen Hahn und Straßmann auf die Uranspaltung; schließlich verdankt die ganze medizinische Forschung dem Auftreten nicht-normaler Vorgänge im Lebensablauf ihre Existenz.

Gelegentliche Anomalitäten auf der Sonne wurden mit den ersten Fernrohrbetrachtungen gefunden: die Sonnenflecken. Christian Scheiner in Ingolstadt begann 1611 mit einer viele

Jahre fortgeführten Registrierung: 1630 veröffentlicht er das berühmte Werk *Rosa Ursina*, in welchem aus der zeitlichen Verlagerung der Sonnenflecken auf die Eigenrotation der Sonne geschlossen wird – 25 Tage um eine unter  $83^\circ$  zur Ekliptik geneigte Achse – und viele seltsame, erst in der Neuzeit verstandene äußerst sorgfältige Beobachtungen mitgeteilt werden.

Erst als Folge von Kirchhoffs und Bunsens Arbeiten wird die Sonnenforschung wissenschaftlich ertragreich. Sie gaben Veranlassung, die Sonnenflecken und die bei Sonnenfinsternissen seit Alters her beobachtete Corona, die leuchtende bizarr gestaltete Sphäre um die Sonne und die in ihr gelegentlich beschriebenen hell-leuchtenden roten Wolken, die Protuberanzen, spektral, d. h. bezüglich der in ihnen leuchtenden chemischen Elemente zu analysieren. 1868, am 18. August führte der französische Astronom Janssen, Teilnehmer an einer von den europäischen Ländern ausgerüsteten Expedition zur Beobachtung einer totalen Sonnenfinsternis nach Indien, den Nachweis, daß eine – wirklich zufällig im richtigen Moment auftretende – Protuberanz aus leuchtendem Wasserstoff besteht und am 20. Oktober gelang es Norman Lockyer, durch einen genialen Kunstgriff das erste Spektrogramm einer Protuberanz ohne Verfinsterung der Sonne aufzunehmen.

Ich will nur erwähnen, daß das Streben immer bessere spektrale Analysen der Sonne und ihrer Umgebung zu erhalten durch die Konstruktion des *Spektroheliographen* von Hale und Deslandres (1892) (der heute meist durch die sehr monochromatischen Filter ersetzt ist) und den Lyotschen *Coronographen* erfüllt wurde, die auch für die Wendelsteinbeobachtungen wesentlichsten Geräte. Mit ihnen gelang es nicht nur die Protuberanzen und die Corona, sondern auch die Sonnenflecken, die mit ihnen verbundenen Wolken, die Filamente, die Sonnenfackeln – und wie die Erscheinungen alle genannt werden – bezüglich der Beteiligung der verschiedenen chemischen Elemente an ihnen zu analysieren; so lernte man, welche Erscheinungen auf leuchtendem Wasserstoff oder auf leuchtendem Calcium oder anderen chemischen Elementen beruhen.

Uns interessiert hier die Übertragung einer anderen physikalischen Entwicklung auf diese astrophysikalische Forschungsrichtung: der Verbindung der Erforschung des Leuchtvorgangs, der Spektralanalyse und des Atombaus. Die spektralanalytische Forschung hatte gelehrt, daß das (spektrale) Leuchten der Atome nicht nur charakteristisch ist für ihre *chemische* Natur, sondern auch für *den physikalischen Zustand in der Lichtquelle*. Wird das Leuchten eines Atomgases im Laboratoriumsversuch bei steigender Temperatur erzeugt, so treten andere Spektrallinien auf, weil nämlich mit zunehmender Temperatur die Atome in höher-energetische Zustände oder sogar in einfach-, doppelt- (oder noch höher) elektrisch-geladene Ionen übergehen. Man lernte, daß Art, Lage und Form der Spektrallinien entscheidend von der Temperatur der Lichtquelle und außerdem zwar sehr wenig, aber sehr charakteristisch davon abhängen, ob Gase unter hohem Druck oder bei sehr hoher Atomgeschwindigkeit oder bei Anwesenheit eines Magnetfeldes leuchten. Nimmt man auf Erde, Sonne und Fixsternen wiederum gleiche physikalische Gesetze an – und vielfache innere Kontrollen lassen daran nicht zweifeln –, so kann man nun aus der feineren Analyse ihrer Spektren den *physikalischen Zustand dort erkennen, wo das Licht entsteht*. So konnte man folgern, daß die innere Corona ein hochionisiertes Gas von etwa 1 Million Grad ist, daß die äußere Corona gar kein leuchtendes Gas ist, sondern aus Elektrizitätsteilchen, aus Elektronen besteht, welche das von der Sonne kommende Licht streuen, daß in den Sonnenflecken dunklere, in den Protuberanzen und Filamenten heller leuchtende Wasserstoffwolken *wirbeln*, daß die unter den Sonnenflecken aufflammenden „Fackeln“ sehr kurzzeitige gewaltige Strahlungsausbrüche aus dem Sonneninneren mit stärkster ultravioletter Strahlung sind, daß in den Sonnenflecken starke magnetische Felder bestehen und daß die Sonne als Ganzes ebenso wie die Erde ein magnetisches Feld hat. Als ich vor 50 Jahren studierte, lernte ich noch, daß in der Corona und in den fernen Nebeln auf der Erde unbekannte Gase sind; das „Coronium“, das „Nebulium“ erwiesen sich als Spektren von anomalen Atomzuständen

bekannter irdischer Elemente unter ganz besonderen Bedingungen, welche erst die Quantentheorie verstehen lehrte. Mit der Erforschung der physikalischen Zustände in Sonne und Sternen werden diese zu einer Erweiterung unserer irdischen Laboratorien.

In einem Punkt dieser Analyse steckt aber noch der Wurm. Nach der Quantentheorie des Wasserstoffspektrums und nach absolut sicheren experimentellen Analysen hat man bis zum letzten Jahr niemals beobachten können, welche Leuchtvorgänge dem normalen Wasserstoffatom angehören. Denn das von ihm emittierte Licht ist so kurzweilig ultraviolett – wir nennen es das „Lymangebiet“ – daß es durch die Erdatmosphäre nicht hindurchgeht. Wir beobachten nur das von hochangeregten Atomen ausgehende sichtbare „Balmerspektrum“. Alle auf dem Wasserstoffleuchten beruhenden Theorien sind also in der Grundannahme hypothetisch; die Astrophysiker *waren* in einer ähnlich glücklichen Lage, in der die Humanisten immer sein werden: Was für jene die ultraviolette Undurchlässigkeit der Erdatmosphäre war, ist für diese der Brand der Bibliothek von Alexandria: ohne ihn wüßte man genau, wie es früher *wirklich* war. Der Naturforscher ist aber mit solch bequemer Lage nicht zufrieden, und nun ändert sie sich, seit Schwarzschild in Amerika mit Raketen mächtige Fernrohre mit Spektrographen in große Höhen schickt – eine wesentlich vernünftigere Last für diese als Bomben, Mäuse, Menschen oder Affen.

Die Benutzung irdischer Erkenntnisse für die Erforschung der Sonne und die Rückübertragung der dabei gewonnenen Erkenntnisse auf irdische Naturerscheinungen haben die Lösung eines bis vor kurzem nicht angreifbaren *geophysikalischen* Problems ermöglicht: die Analyse höchster Schichten der Atmosphäre. In ihnen treten die Polarlichter auf und mit ihnen starke Änderungen des magnetischen Erdfeldes, „magnetische Stürme“ genannt, was 1822 der englische Physiker Fox beobachtete, zu gleicher Zeit als Faraday die Wechselwirkungen zwischen magnetischen Feldern und elektrischen Strömen studierte. Sofort sucht Faraday eine Beziehung: „Kaum wage ich – schreibt er 1832 –

selbst in der hypothetischsten Form zu fragen, ob das Nord- und Südlicht die Entladung von Elektrizität sei, die (im magnetischen Erdfeld) nach den Polen getrieben . . .!“ Seine *spezielle* Annahme, woher die Elektrizität kommt, ist für die Polarlichtbildung nicht mehr haltbar. Aber die Grundkonzeption erwies sich als richtig, seit man weiß, daß Polarlicht und magnetischen Stürmen in der Mehrzahl der Fälle eine bestimmte, besonders heftige Fleckentätigkeit der Sonne vorausgeht. Andererseits weiß man, daß bei der hohen Temperatur der Sonne und erst recht in den sehr heißen, mit den Flecken verbundenen Vorgängen ein großer Teil der Atome hochionisiert wird, daß also eine hohe Konzentration freier Elektronen in und um die Sonne vorhanden ist – das vorher erwähnte Leuchten der äußeren Corona ist an solchen freien Elektronen gestreutes Licht aus den inneren Teilen der Photosphäre. Werden bei der Sonneneruption Elektronenwirbel ausgeschleudert, so bilden diese einen elektrischen Strom von der Sonne zur Erde und erzeugen das in den Sonnenflecken beobachtete magnetische Feld. Fliegen sie von der Sonne zur Erde, vielleicht sogar durch magnetische Kräfte sehr hohe Geschwindigkeit erhaltend, so wird der in das Magnetfeld der Erde eintretende Elektronenstrom – seit Hittorf bekannt und vor allem von Birkeland eingehend behandelt – durch dieses nach dem nördlichen und südlichen Polarkreis abgelenkt. Dort erzeugen sie in bekannter Weise das elektrisch, d. h. durch Elektronenstoß erregte Gasleuchten der Geißler-Röhren, also gerade dort, wo das Maximum der Polarlichter liegt (und das regelmäßig gleichmäßige Auftreten von Nord- und Südlicht ist jetzt im geophysikalischen Jahr sichergestellt worden). Ein solcher Elektronenstrom muß aber auch auf der Erde ein magnetisches Feld erzeugen, in ihr Induktionsströme erregen, welche wiederum das Erdfeld ändern, und außerdem den normalen elektrischen Zustand der hohen Atmosphäre gründlich in Unordnung bringen, den Zustand, der durch die kurzwellige ultraviolette Sonnenstrahlung hergestellt wird, welche dabei absorbiert wird: die Aufteilung der Gasatome in Ionen und freie Elektronen; hierzu tritt noch die Wirkung der stoßweise erhöhten Ultraviolettstrahlung von den

oft sehr kurzzeitigen und schnellwechselnden Strahlungsausbrüchen in den Fleckenzonen.

1928 wurde beobachtet, daß streng parallel zu diesen die drahtlose Kurzwellen-Telegraphie fast oder völlig unterbrochen wird, das „fading“, der sogenannte Mögel-Dellinger-Effekt, *eine unmittelbare Beeinflussung unserer Technik durch Sonnenvorgänge* – und gleichzeitig eine noch weitergehende Erkenntnis: daß die Kurzwellen-Nachrichtenübermittlung über große Entfernungen überhaupt nur möglich ist, weil die ultraviolette Sonnenstrahlung die Atmosphäre in über 100 km Höhe zur Ionosphäre, d. h. durch Bildung freier Elektronen elektrischleitend macht. Mit kühner, aber in vollem Umfang experimentell bestätigter Extrapolation wird aus der Spiegelung der kurzen Lichtwellen an Metallen – beruhend auf der dichten Packung freier Elektronen in diesen – auf die Reflexion der längeren elektrischen Wellen an den locker gepackten freien Elektronen in der Ionosphäre geschlossen.

Je besser die Reflexion, desto besser die Nachrichtenübermittlung auf der Erde: Aus ihrer quantitativen Untersuchung erkennt und analysiert man *auf der Sonne ablaufende physikalische Vorgänge ohne sie selbst zu beobachten* – durch eine systematische Anwendung der im Laboratorium analysierten und in Gesetze gefaßten elektrodynamischen und elektromagnetischen Erscheinungen.

\* \*  
\*

Können wir diese Relation auch umkehren und aus der Sonnenbeobachtung Voraussagen über die Güte und etwaige Störungen im Funkverkehr machen? Damit begegnen wir einem anderen Aspekt der naturwissenschaftlichen Forschung: ihre Folgen für den Menschen.

Die Ausnützung der Erkenntnisse der Naturforschung für die Klärung unserer *geistigen* Stellung zur Welt, insbesondere ihre

philosophischen, etwa erkenntnis-theoretischen oder ethischen Konsequenzen und Forderungen – all das sollte wohl als ein wesentlicher Teil der Naturwissenschaft selbst angesehen werden, weil so sehr zu beachten ist, daß diese ebensowenig starr oder dogmatisch sein können, wie es die Naturwissenschaft ist, als eine in ihren Grundanschauungen in stetem Wechsel sich befindende Wissenschaft.

Wir wollen unsere drei Beispiele auf eine andere Nutzung ihrer Erkenntnisse noch kurz ansehen, die man „Technik“ nennt, dabei aber auch den Einfluß der Technik auf die neue Forschung nicht vergessen. Doch müssen wir vorab klar aussprechen, daß *Naturerkenntnis und Technik*, d. h. Ausnützung ihrer Ergebnisse für die materielle Gestaltung des Lebens, *an sich* gar nichts miteinander zu tun haben. Wir halten es auch hier mit Goethe:

„Zwar mag in einem Menschenkind  
Sich beides auch vereinen;  
Doch daß es zwei Gewerbe sind,  
Das läßt sich nicht verneinen.“ –

oder mit Schiller, damit in *einem* Münchner Vortrag im Schillerjahr doch auch seiner gedacht wird:

„Wer um die Göttin freit, suche in ihr nicht das Weib.“

Bei unserem dritten Beispiel sahen wir, wie ein technisches „Versagen“ durch eine weitblickende, d. h. wissenschaftliche Betrachtung aller Umstände die Erforschung der Vorgänge in der Sonne und in den hohen Atmosphärenschichten auf einen neuen Weg brachte; es ist selbstverständlich, daß diese Technik nun für diese Forschung nutzbar gemacht wurde. Umgekehrt kann man jetzt, nachdem über den Zusammenhang zwischen Vorgängen auf der Sonne und dem Zustand der Ionosphäre viele Einzelheiten ermittelt sind, aus Sonnenbetrachtungen Vor-

aussagen für die Ausbreitungsbedingungen verschiedener Ultrakurzwellenbereiche machen, die in sehr verschiedener Weise von den Ionosphärenzuständen abhängen. Was geschehen wird, weiß man eine gewisse Zeit vorher, weil die Beobachtung etwa eines Sonnenausbruchs nach 8 Minuten (so lange braucht das Licht) erfolgt, die aus ihm stammenden geladenen Teilchen aber eine viel längere Zeit für ihren Weg von der Sonne in unsere Atmosphäre brauchen. Unterlagen für diese „Funkwetter-Prognose“ liefert auch das Wendelsteinobservatorium; sie ist sicherer, als die allgemeine Wettervoraussage, weil die Verhältnisse einfacher und daher klarer zu überblicken sind; es ist zu erwarten, daß die letztere auch einmal davon profitiert, nachdem sich vorerst in sehr rohen Zügen Beziehungen zwischen Sonnentätigkeit und irdischem Wettergeschehen und damit auch dessen Folgen erkennen lassen. Sie werden sagen: also doch Astrologie? Meinethalben – man muß nur die Worte des Sterns richtig verstehen lernen!

Wie steht es beim *zweiten* Beispiel? Die tiefen Temperaturen werden im größten Umfang und in mannigfacher Art technisch benutzt. Als solche dienen sie zur Herstellung flüssiger Gase, vor allen Dingen für Kühlzwecke vielerlei Art benutzt. Zur Herstellung von reinem Stickstoff und reinem Sauerstoff zerlegt man flüssige Luft in ihre Bestandteile; aus der flüssigen Luft, welche auch die Edelgase Argon, Krypton und Xenon verflüssigt enthält, trennt man diese ab: sie werden in größten Mengen für die farbigen Reklamelampen oder zum Füllen hochwertiger Glühlampen benutzt; Argon dient als Schutzgas gegen Oxydation beim Schweißen von Metallen. Aus flüssigem Wasserstoff, der neben dem leichten auch den seltenen (1:6500!) schweren Wasserstoff, das Deuterium enthält, kann relativ einfach das letztere abgetrennt werden, welches für die Kerntechnik große Bedeutung hat. Flüssiger Sauerstoff – „Oxyliquid“ – ist ein Sprengmittel. Das edelste der Edelgase, das Helium wird z. B. in Amerika, wo es in großen Mengen aus dem Boden strömt, technisch benutzt. Man könnte es, so wie bei uns den Sauerstoff etwa für Kliniken als Gas unter hohem Druck in Stahlflaschen verwenden. Aber dann müßte man einige Tonnen Stahlflaschen für einige Gramm

Helium verschicken. Man verflüssigt es deshalb und kann es so kiloweise in offenen ganz leichten, thermisch ausgezeichnet isolierten Thermosflaschen billig versenden (was bei Sauerstoff wegen Explosionsgefahr nicht möglich ist).

Die ganz besonderen Eigenschaften der Materie bei sehr tiefen Temperaturen – etwa der sehr kleine elektrische Widerstand von Metallen oder gar die Supraleitfähigkeit – haben bis heute noch keine technische Verwendung gefunden. Es ist aber wohl zu erwarten, daß man zur Vermeidung größerer Widerstandsverluste in Spulen mit sehr hoher Stromstärke zur Erzeugung starker Magnetfelder zur Tieftemperaturkühlung übergehen wird – *trotz* der Kosten, weil das Ziel auf andere Weise nicht erreichbar ist.

Wir müssen aber die technische Verwendung der Tieftemperaturforschung in weiterem Sinn auffassen – *so wie allgemein die technische Nutzung der gesamten Physik*: es gibt nämlich kaum eine Erkenntnis, welche nicht – zwar oft verborgen für den Laien – irgendwo eine entscheidende Rolle spielt. Das gilt auch für die vielen grundlegenden Erkenntnisse, welche aus Untersuchungen bei tiefen Temperaturen über die Materie gewonnen und wie wir zeigten nur da gewonnen werden können.

Stellen wir die Frage nach solchem Nutzen bei unserem *ersten* Beispiel, der Herausgabe der Keplerwerke, so kämen wir in Verlegenheit, wüßten wir nicht die Antwort, die Kepler selbst gibt: er, der bei zahllosen Gelegenheiten die Pflicht betont, nach menschlichem Nutzen der Erkenntnisse zu suchen, stellt an die erste Stelle die Erkenntnis selbst – „*auch wenn weiter kein Nutzen damit verbunden ist*“. –

\*

Meine Damen und Herrn!

Ich habe versucht, Ihnen an speziellen Beispielen einige allgemeine Gedanken über naturwissenschaftliche Forschung näher zu bringen. Ich darf, wenn ich nun mit einem Dank für Ihre

Geduld schließe, für mich selbst doch einen *praktischen* Nutzen aus Keplers Werk ziehen, indem ich mir seine Bitte zu eigen mache:

„Wenn ich aber etwas gesagt habe, was nicht ganz dem Amtsstil entspricht, so haltet das den Sitten der Mathematiker zugute.“