Zeitschrift für angewandte Chemie

43. Jahrgang, S. 449—494 | Inhaltsverzeichnis: Siehe Anzeigenteil S. 537 | 7. Juni 1930, Nr. 23

Naturwissenschaftliche Denkgesetze.

Von Prof. Dr. K. BENNEWITZ, Jena.

(Nach einem Vortrag, gehalten im Juli 1929 in der Medizinisch-naturwissenschaftlichen Gesellschaft zu Jena.)

(Eingeg. 20. März 1930.)

Es läßt sich nicht verkennen, daß mit dem Fortschritt der exakten Naturwissenschaften, der sich letzthin vollzogen hat, nicht nur eine erstaunliche Bereicherung unseres positiven Wissens, sondern auch eine eigenartige Umstellung im Wesen der Erkenntnis verknüpft ist. Wenn wir uns hier etwas näher mit dieser Frage beschäftigen wollen, so geschieht das nicht in der Sprache und Denkart des zünftigen Philosophen, sondern in den Ideenkreisen des theoretisch eingestellten Experimentalphysikers. Damit glauben wir uns auch der Pflicht enthoben, unsere Gedankengänge historisch zu belegen und in vorhandene Systeme einzureihen.

In den exakten Naturwissenschaften vollzieht sich eine Erkenntnis in mehreren Stufen: Das Experiment, d. h. der reproduzierbare Versuch, liefert zuerst offenbare Abhängigkeiten gewisser hervorstechender Eigenschaften des Versuchsobjekts. Die systematische Anordnung des Befundes führt zur qualitativen „Regel" und danach zum quantitativen (empirischen) „Gesetz". Bei diesem Vorgange sind wesentlich: die Messung (Maßstab), die Zahl und eine gewisse mathematische Inspiration, die erst die formelmäßige Beschreibung gestattet. Da nun die wirklich vorgenommenen Messungen diskret, mit Fehlern behaftet und außerdem an ein begrenztes Intervall gebunden sind, bedarf es hierzu einmal der Interpolation, weiter des wahrscheinlichkeitstheoretischen Ausgleichs und schließlich der Extrapolation. Die Verknüpfung derartig erhaltener „Gesetze" liefert wieder neue Prüfungsmöglichkeiten experimenteller Art, und so fort.

Der so gewonnene Wissensstand befriedigte indessen nur wenige Forscherschulen; fast unausgesetzt sehen wir eine spekulative Richtung nebenherlaufen, die es sich zur Aufgabe macht, diese Gesetze nun auch zu „verstehen". Darunter wird ein sehr merkwürdiger, anscheinend einem inneren Bedürfnisse entsprechender Vorgang verstanden, den wir als Hypothesenbildung, besser noch als „Abbildung unserer vertrauten Umgebung auf das neu erschlossene Gebiet" bezeichnen können. Etwa so: das Molekül soll die Eigenschaften einer Billardkugel besitzen usw. Das hieraus mathematisch deduktiv abgeleitete System soll dann dem physikalischen Gebilde, also hier dem Gas, entsprechen. Notwendig werdende Berichtigungen werden dann in der Form erweiterter Grundvorstellungen vorgenommen. Die dabei eintretende Verfeinerung wird durchaus als Vertiefung der Theorie empfunden.

Dem ganzen Verfahren haftet zweifellos viel Anthropomorphes an, und es erhebt sich die Frage, ob auf diesem Wege, der freilich den Vorteil der Anschaulichkeit besitzt, überhaupt eine letzte Erkenntnis gewonnen werden kann. Hierzu soll das Wesen der Erkenntnis etwas näher untersucht werden, und zwar sowohl das der mathematischen wie das der naturwissenschaftlichen Erkenntnis.

Ausgangspunkt aller Erkenntnis ist die *sinnliche Wahrnehmung*; die Sinne des Neugeborenen sind noch kaum entwickelt; bliebe es auf dieser Stufe, so käme es trotz des vorhandenen Lebens niemals zu einer Erkenntnis. Aus der Wahrnehmung (Empfindung und Bewußtsein) entsteht unter Mitwirkung des *Gedächtnisses* die *Vergleichung* des Wahrgenommenen. Als primär ist hier die Wahrnehmung der *Gleichheit* mehrerer Objekte zu betrachten, erst später die der *unvollständigen* Gleichheit. Hier beginnt die konkrete Unterscheidung, z. B. die Wiedererkennung desselben Objekts; damit haben wir die erste *konkrete Begriffsbildung*. Anschließend überträgt sich die Wahrnehmung der Ungleichheit auf *abstrakte* Dinge, z. B. die Farbe. Auf einer schon wesentlich höheren Stufe setzt nun auch im Abstrakten die Begriffsbildung ein, die als erstes den *Eigenschaftsbegriff* heraushebt. Nunmehr können gleiche, später auch nur hinsichtlich einer Eigenschaft gleiche Objekte aneinandergereiht werden, und es entwickelt sich eine *primitive Kombinatorik*. Fast von selbst tritt dabei die *Ordinalzahl* als Eigenschaft des Objektes auf: erster, zweiter, dritter Stein usw. Sehr viel mehr Mühe verursacht der nächste Schritt zur *Kardinalzahl*, der über das Abzählen zum Begriff der Vielheit gelangt; die *drei* ist jetzt nicht mehr Eigenschaft des *Objekts*, sondern der „*Menge*". Dieser Zahlbegriff ist aber noch durchaus in Verbindung mit den Objekten zu denken. An diesen Objekten wird nun auf empirischem Wege eine Anzahl von Eigentümlichkeiten festgestellt, so die Unabhängigkeit der Gesamtzahl von der Reihenfolge des Abzählens, das kommutative und das assoziative Gesetz und anderes. Alles dies erregt höchste Verwunderung und erscheint durchaus nicht als selbstverständlich.

a) Nun beginnt sich der Zahlbegriff *vom Objekte zu lösen*, ein Vorgang, der eng mit der Erlernung der Zahlensymbole zusammenhängt. Die Weiterentwicklung wird schlechter erkennbar, weil Einflüsse von außen (Schule) den Weg vorschreiben. Indessen ist der Weg wohl der: während anfänglich die *Kontrolle* (etwa an den Fingern) alle etwa auftretenden Zweifel behebt, erübrigt sie sich später infolge des wachsenden Zutrauens zur *Eindeutigkeit* des erlernten Systems. Zweifel werden vielleicht wieder wach bei der Mehrdeutigkeit der *Wurzeln* usw. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit einer schärferen *Axiomatik*, wodurch das System mehr und mehr konsolidiert wird. In einer ganz hohen Stufe werden dann diese Axiome selber untersucht, was schließlich zur restlosen Erkenntnis des Mindestmaßes von Axiomen zum *widerspruchslosen Aufbau* des oder der Systeme führt.

b) Von a ab hatten wir die Entwicklung der mathematischen Erkenntnis verfolgt; wir knüpfen dort wieder an, um nunmehr das Werden naturwissenschaftlicher Erkenntnis zu betrachten. Das Studium am Objekt hatte zu erfreulichen Gesetzmäßigkeiten geführt, die wir nun an neu bemerkten Eigenschaften zu prüfen beabsichtigen. Eine solche sei etwa die Masse, über deren Definition wir eine geeignete Vereinbarung getroffen haben mögen. Bringen wir zwei Gewichtsstücke von je 1 g gemeinsam auf eine Waageschale, so erwarten wir eine Wirkung von 2 g. Würden wir auf diesem Wege ein System aufzubauen versuchen, so erhielten wir zwar einen für den praktischen Gebrauch ausreichenden Gewichtssatz; würden wir aber unsere Meßmethoden ungemein verfeinern, so stellte sich heraus, daß unser Satz gar nicht eindeutig ist und in sich durchaus nicht widerspruchslos. Das Zusammenlegen der Gewichtsstücke ist mit Änderung ihrer potentiellen Energie verbunden und damit mit einer Änderung der Masse. Wir ersehen daraus, daß die Handlung des Zusammenlegens keineswegs dasselbe ist wie das Addieren. Schalten wir zwei Drahtspulen hintereinander, so addieren sich ihre elektrischen Widerstände, ihre Leitfähigkeiten jedoch nicht; schalten wir sie parallel, so ist gerade das Umgekehrte der Fall. Aus diesem Beispiel sehen wir, daß der Vorgang des Addierens hier durch zwei ganz verschiedene physikalische Schaltvorgänge zu realisieren ist. Überdies bleibt wie oben immer die Ungewißheit, ob bei zunehmender Meßgenauigkeit sich nicht neue Störungen bemerkbar machen. Verzichtet man nun auf völlige Strenge, so erhält man Systeme, die durchaus praktischen Wert besitzen und einen großen Teil der Wissenschaft und die ganze Technik beherrschen; aber mit einer letzten Erkenntnis hat das wenig zu tun.

Unser soeben benutztes Verfahren beruhte darauf, eine physikalische Operation durch eine mathematische Operation abzubilden, wobei wir insofern Schiffbruch erlitten, als wir in diesen und zahlreichen ähnlichen Fällen nur zu einer angenäherten Abbildung zu gelangen scheinen. Indessen könnte das daher rühren, daß wir in der Auswahl unserer physikalischen Operationen nicht vorsichtig genug waren. Offenbar kann die Abbildung in einfacher Weise nur dann glücken, wenn wir uns auf elementare Operationen beschränken, als welche wir die Prozesse der Elementarbausteine vermuten, d. h. das Gebiet der Kinematik und Dynamik der Elektronen und des elektromagnetischen Feldes.

Aber noch ein anderer Grund könnte für das Fehlschlagen verantwortlich sein, nämlich die Unzulänglichkeit unseres mathematischen Gebäudes. Die neuere Forschung (Hilbert) lehrt, daß dieser Argwohn nicht grundlos ist, und daß es einer peinlichen Axiomatik bedarf, um zu einer wirklichen Geschlossenheit zu gelangen. Auch das sicherste Axiom kann, unvorsichtig angewendet, zu Fehlschlüssen führen. So führt der Satz vom zureichenden Grunde zwar eindeutig zum Archimedischen Hebelprinzip, er versagt aber (scheinbar), wenn wir ihn auf die Wirkung des elektrischen Stromes auf eine Magnetnadel anwenden; nach ihm sollte hier keine Ablenkung eintreten. Wenn nämlich der stromführende Draht parallel zur Achse des Magneten verläuft, ist das „Rechts" vor dem „Links" durch nichts ausgezeichnet; den Richtungssinn der wirklich auftretenden Ablenkung können wir uns nur durch das Experiment (Ampèresche Schwimmregel) vor Augen führen, nicht aber durch logische Konstruktion erschließen. Die „Rechts"- oder „Linkshändigkeit" der Natur des elektromagnetischen Feldes ist somit als ein transzendent Gegebenes zu betrachten. Als weiteres Beispiel diene der Satz vom ausgeschlossenen Dritten. Bei einem bekannten Gesellschaftsspiel habe der Fragende herausbekommen, daß das zu erratende Objekt eine der um den Tisch herumsitzenden Personen ist. Bei der an jede einzelne Person gerichteten Frage, ob er es sei, erfolgt jedesmal die Antwort: nein. Hier scheint ein Widerspruch gegen obigen Satz vorzuliegen. Die dennoch völlig korrekte Lösung lautet etwa: Der rechte Nachbar des jeweilig Gefragten. Daß es sich hierbei nicht um Spielereien handelt, zeigt das Relativitätsproblem, dessen Lösung durch Einstein auf einer ganz ähnlichen Grundlage beruht.

Ist somit bei logischen Schlüssen höchste Vorsicht am Platz, so würde andererseits eine grundsätzliche Ablehnung der Logik zum völligen Verzicht auf Erkenntnis führen. Dazu liegt aber kein Grund vor. Nun sahen wir bereits früher, daß das Kind die Existenz innerlich widerspruchsfreier Systeme keineswegs als selbstverständlich ansieht. Wir schließen daraus, daß das logische System nicht etwas vom Menschen willkürlich Erdachtes, sondern eine der Welt immanente Eigenschaft darstellt, das denselben Grad von Realität besitzt wie die wahren physikalischen Grundgesetze. Dort aber nennen wir sie Kausalität. Durch die Konstatierung der Existenz dieser beiden Begriffe: Logik und Kausalität sind wir erst berechtigt, unser Programm der Abbildung der letzteren auf erstere in Angriff zu nehmen.

Die neuere Entwicklung der Quantenmechanik hat nun neuerlich einen heftigen Feldzug gegen die Kausalität unternommen, der mit dem Auftreten von Wahrscheinlichkeitsfunktionen begründet wird. Es ist hier nicht der Raum für eine eingehende Stellungnahme; eine kurze Andeutung möge genügen. Unter Kausalität wird nicht die Gesetzlichkeit schlechthin verstanden, sondern die beobachtbare Gesetzlichkeit. „Denn wenn sie nicht beobachtbar wäre, wäre die Frage nach ihrer Existenz Schaumschlägerei." Wir stehen hier vor einer Logistik, die ebenso vorsichtig gehandhabt werden muß wie das Beispiel des Erratens vorhin. Der Entropiesatz als typischer Wahrscheinlichkeitssatz wurde von Boltzmann auf völlig kausaler Grundlage abgeleitet, und kein Berufener hat jemals den Versuch gemacht, aus der Existenz der H-Funktion auf die Nichtexistenz der Kausalität zu schließen. Diese Fragen sind letzthin viel behandelt worden, worauf wir hier verweisen müssen*). —

So postulieren wir neben der Logik die (beobachtbare oder nicht beobachtbare) Kausalität und betrachten sie als aufeinander abbildbar. Als logisch geschlossenstes Gebilde erscheint nun die Gruppe (im weitesten Sinne), als die einfachste Operation die Transformation (im weitesten Sinne)[1]. Wir suchen nun in

*) Vgl. dazu Reichenbach, diese Zeitschrift 42, 457 [1929].

[1]) Für die Begriffe der Gruppe und der Transformation sei auf die Spezialliteratur hingewiesen; als Einführung z. B. das Bändchen „Gruppentheorie" von L. Baumgartner (Sammlung Göschen Nr. 837). Eine Gruppe ist ein besonders einfaches System von Elementen (Zahlen, Zuständen vergleichbarer Art, Orientierungen usw.), das bestimmten Bedingungen genügt. Die Verknüpfung zweier Elemente führt zur Transformation. Die Gruppentheorie knüpft an die elementarsten mathematischen Vorgänge an, z. B. an die Kongruenzbeweise der Dreiecke, indem sie das Typische heraushebt. Indessen ist sie nicht an eine Disziplin, etwa die Geometrie, gebunden, sondern besitzt, wie man mehr und mehr erkennt, auf jedem mathematischen Gebiete Hausrecht. Somit scheint sie neben der Mengenlehre das geeignete Fundament für letzte Erkenntnisse zu bilden. — Die wesentlichste Eigenschaft einer Gruppe besteht darin, daß die nach einer Vorschrift erfolgende Verknüpfung zweier Elemente des Systems wieder zu einem Element des Systems führt. Ein einfachstes Beispiel einer Gruppe ist das System der (positiven und negativen) rationalen Zahlen, die Verknüpfungsvorschrift sei Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division. Aus je zwei Elementen dieser Gruppe erhält man wieder

der physischen Natur nach Systemen, die die Gruppeneigenschaften besitzen, ein Verfahren, das zuerst von Weyl in umfassendem Maße angewendet wurde. Wir betrachten folgende Systeme:

1. Die Gesetze der Kristallographie. Hier haben wir ein System, dessen Gruppeneigenschaft auch dem Fernstehenden in idealster Weise in die Augen springt. Dadurch, daß wir die im Raume möglichen Deckungstransformationen (Translation, Drehung, Spiegelung) rein logisch erforschen, erhalten wir ein abzählbares System von Formen, für die die Natur in ihren Kristallen ein vollständiges Abbild liefert.

2. Die Maxwellsche Gruppe. Der experimentelle Befund lautete: im Felde umkreisen sich elektrische und magnetische Kraftlinien wechselseitig und vertauschbar im Raume; die topologische Untersuchung führt für ein solches Gebilde eindeutig zu den (primären) Maxwellschen Gleichungen, die eine Transformationsgruppe bilden. Zugleich wird dadurch der Raum als ein solcher von ungerader (3., 5.) Dimension gekennzeichnet. Bei einem solchen Verfahren können (dimensionierte) Konstanten auftreten, hier die Lichtgeschwindigkeit, die, wenn die Beschreibung des Feldes durch diese Transformation wirklich geleistet wird, den Rang einer Naturkonstanten besitzen muß.

3. Die relativistische Gruppe (in der speziellen Theorie durch die Lorentztransformation gekennzeichnet). An ihr erkennen wir wieder deutlich das Typische der Gruppe: Die klassische Kinematik benutzt die Gruppe der linearen Transformationen (Galilei): $x' = x - vt$ usw., in bezug auf die die Gesetze der Mechanik invariant sein sollen. Hier wird jedoch der Zeitkomponente Absolutheit zugeschrieben im Gegensatz zu den räumlichen Komponenten. Die Unsymmetrie im Verhalten der Koordinaten x und t, die gewissermaßen als Schönheitsfehler auftritt, zeigt an, daß diese Gruppe noch nicht der Forderung maximaler Wohlordnung genügt. Die höhere Gruppe der Lorentztransformation beseitigt diese Unausgeglichenheit: $x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ usw., sie ist also aus rein formalen Gründen die vollkommenere, und aus diesem Grunde halten wir sie für „wahrer“. Aber auch diese Gruppe wird gestört, sobald Beschleunigungen oder Drehungen auftreten. Die Aufgabe Einsteins bestand nun darin, diejenige Gruppe aufzudecken, die auch dieses leistet. Das Resultat ist die allgemeine Relativitätstheorie, deren Gruppe zwar scheinbar viel komplizierter, tatsächlich aber weit geschlossener und umfassender ist. Sie erscheint uns heute als die „wahrste“. Ob sie indessen die letzte Stufe darstellt, läßt sich zurzeit nicht erkennen, sicher ist aber, daß diese Art des Erweiterns ein Fortschreiten zu tieferer Erkenntnis bedeutet[2]).

4. Die Quantenmechanik. Ohne auf diese schwierigen Dinge einzugehen[3]), wollen wir hier nur anführen: die Drehungsgruppe, die zum Impulsmoment gehört und die innere Quantenzahl beherrscht; die Lorentzgruppe, die nach Dirac die Bewegungsgleichungen des Elektrons liefert, und die Gruppe der Permutationen, die das Pauliprinzip ausmacht. Als Naturkonstante tritt das Plancksche Wirkungsquantum auf. — Gerade dieses Gebiet wird dem Chemiker unsere Gedankengänge näherbringen, wenn er beachtet, daß das Resultat dieser Betrachtungen die restlose Aufklärung der Struktur des periodischen Systems ist. Seine Zahlenmystik, die sich seit langem dem Forscher offenbarte, aber unverstanden blieb, löst sich nunmehr in ein Schema von Quantenzahlen auf, das innerlich völlig eindeutig ist und ein Minimum von Grundannahmen enthält. Darüber hinaus sind diese Annahmen aber durchaus nicht modellmäßiger, sondern rein formaler Natur und infolgedessen nicht mit anthropomorphen Übertragungen aus der uns geläufigen Sinnenwelt belastet. Daß aber ein solcher Formalismus nicht leer ist, sondern heuristischen Wert besitzt, zeigt am besten die theoretische Erschließung und spätere Auffindung des Para- und Orthowasserstoffs.

Diese Beispiele mögen genügen; wir sehen, daß gerade die grundlegendsten Gebiete diejenigen höchster Gruppensymmetrie sind. Wir behaupten nun, daß diese Art der Abbildung das Höchste darstellt, was die Erkenntnis leisten kann. Würde eine Axiomatik nach Art derjenigen Hilberts die Wohlgeschlossenheit dieser physikalischen Gruppen (z. B. hinsichtlich ausreichender Koordinatenzahl) erweisen, so hätten wir damit letzte Erkenntnisse gefunden. Schon bei den relativistischen Gruppen wiesen wir darauf hin, daß auch bei gruppenmäßiger Darstellung eine Weiterentwicklung noch möglich ist, indem wir einen erweiterten Erfahrungsbereich in sie aufzunehmen versuchen. Ob wir bei diesem Prozeß zu einem endgültigen Abschluß gelangen werden, bleibt, wie erwähnt, offen; die Frage also, ob wir gewisse Erkenntnisse bereits heute als „letzte“ bezeichnen dürfen, ist noch nicht entschieden. Sollte sich nun aber zeigen, daß im späteren Verlaufe gefundene Gesetzmäßigkeiten sich reibungslos dem anerkannten Schema einfügen, so werden wir nicht anstehen, dem Schema mit zunehmender Wahrscheinlichkeit den Rang letzter Erkenntnis zuzusprechen.

Von der eingangs geschilderten Methode zur Gewinnung von Theorien weicht unser letztes, rein formales Verfahren weit ab, und das Bewußtsein höherer Geschlossenheit haben wir anscheinend mit dem Verluste der Anschaulichkeit bezahlt. Das ist der Grund, daß sich namentlich in der älteren Generation ein Widerstand gegen die axiomatische Methode bemerkbar macht. Indessen liegt hier ein Trugschluß vor. Was wir schlechthin Anschaulichkeit nennen, ist zum größten Teil Gewohnheit. Was uns die Sinne aufweisen, einmal, zehnmal, immer wieder, das nennen wir anschaulich. Wenn wir uns eine Funktionalbeziehung anschaulich machen wollen, stellen wir sie graphisch dar. Wie nun, wenn sie im drei- oder mehrdimensionalen Raume verläuft? Es dürfte kaum zu bestreiten sein, daß derjenige, der sich viel mit solchen Dingen zu beschäftigen hat, allmählich eine Art konstruktiver Anschaulichkeit erwirbt, die von der sinnlichen nicht wesensverschieden ist. Ja, häufig stehen uns sogar experimentelle Mittel hierfür zur Verfügung. Eine Fläche mit nur einer Seite ist dem Nichteingeweihten unvorstellbar; ein Blick auf einen Torus (etwa ein einmal verdrilltes und dann zusammengeklebtes Band) lehrt diese Anschauung. Der räumliche Sehraum ist kein sinnlicher, sondern ein konstruierter, und dennoch ist er anschaulich. Das Unten und Oben in der Welt des Kopernikus erregt heute nicht die mindesten Bedenken.

ein der Gruppe angehöriges Element. Oder das System bestehe aus den vier Elementen: $f_1(x) = x$; $f_2(x) = \frac{1}{x}$; $f_3(x) = -x$; $f_4(x) = -\frac{1}{x}$. Bilde ich etwa $f_3(f_4(x)) = -\left(-\frac{1}{x}\right) = \frac{1}{x} = f_2(x)$, so erhalte ich immer wieder eins der vier Elemente.

[2]) Siehe hierzu z. B.: M. Born, Die Relativitätstheorie Einsteins, Berlin 1921.

[3]) Siehe hierzu: H. Weyl, Gruppentheorie und Quantenmechanik.

So ist es Sache der Erziehung, unsere Anschauung von den Sinnen loszulösen, und es ist eine Notwendigkeit, weil die Anschauung zwar keinen wesentlichen Erkenntniswert, wohl aber einen wesentlichen heuristischen Wert besitzt. Daß wir aber über die gewöhnliche Anschauung hinauswachsen müssen, lehren u. a. zwei Beispiele der Wissenschaft: Die anschauliche Deutung der Lorentzkontraktion war wohl dem Bilde einer im Wasser aufsteigenden Luftblase entnommen, die sich dabei abflacht. Heute besitzen wir die konstruktive Auffassung der xyzt-Welt, die viel leistungsfähiger und dabei im neuen Sinne durchaus anschaulich ist. Und weiter: Die Wellenmechanik Schrödingers ging von anschaulichen, übrigens auch schon abstrahierten Wellenvorgängen aus; diese Anschaulichkeit ging sofort verloren, als man sich mit Oszillatoren oder Bohrschen Atommodellen in gleicher Art zu beschäftigen versuchte, in noch höherem Maße, als man zum Mehrelektronenproblem vorschritt.

Je mehr wir uns von der irrtümlichen Auffassung freimachen, daß das „Verstehen" eine Zurückführung des Unbekannten auf schon Bekanntes ist, das „Erklären" eine Beschreibung des sinnlich Unzugänglichen durch sinnlich Vertrautes, mit um so geringerer Voreingenommenheit werden wir dem Unverstandenen gegenübertreten. An Stelle uns also von menschlichen Analogien leiten zu lassen, werden wir besser tun, die aus dem Experiment herauszuschälenden Rhythmen mit denen zu vergleichen, die uns das mathematische Denken in Form einfachster und vollendetster Systeme, nämlich der Gruppen, liefert. Die so gewonnene „Abbildung" ist letzten Endes tiefergreifend als eine gewohnheitsmäßige Analogiebildung. Und sie befriedigt nicht nur in logischer, sondern auch in ästhetischer Beziehung vollauf. Das erkennen wir, wenn wir bedenken, daß die gesamte Ästhetik der Kunst aus ganz derselben Wurzel entsprießt. Die ganze Schönheit einer Ornamentik, einer Architektonik, eines musikalischen Satzes (Fuge!) beruht nicht so sehr auf optisch-akustischen Wirkungen, als vielmehr auf der häufig unbewußten Adaption von gruppentheoretischen Gesetzlichkeiten.

So glauben wir gezeigt zu haben, daß der heute herrschende Formalismus der exakten Wissenschaften ein naturnotwendiger und tief begründeter Fortschritt ist, der wohl imstande ist, zu einer wahren Erkenntnis zu führen. Zu einer Erkenntnis freilich, die für manchen eine arge Enttäuschung bedeuten dürfte; gehört doch für den rein empirisch Eingestellten eine erhebliche Überwindung dazu, seine modellmäßige Vorstellung gegen eine formal-mathematische Auffassung einzutauschen. Nötig wird das aber erst für die Aufdeckung letzter Zusammenhänge; im täglichen Betriebe der Wissenschaft wird jedoch nach wie vor das auf der Hypothese beruhende, modellmäßige Denken seinen heuristischen Wert beibehalten[4]). [A. 37.]

[4]) Die Literatur über dieses Gebiet ist ungemein verstreut; selbst Tageszeitungen enthalten häufig Artikel dieser Art. Deshalb seien nur einige Namen genannt: Reichenbach, Weyl, v. Mises, Planck, Schlick, Dingler.

Die Wiedergabe von Nieren und Harnwegen im Röntgenbilde durch Jodpyridonderivate.

Von Prof. Dr. A. Binz, Prof. Dr. C. Räth und Prof. Dr. A. v. Lichtenberg,

Chemisches Institut der Landwirtschaftlichen Hochschule Berlin (Direktor Prof. Binz) und Urologische Abteilung des St.-Hedwig-Krankenhauses, Berlin (Direktor Prof. v. Lichtenberg).

(Eingeg. 17. März 1930.)

Im Jahre 1906 gelang Völcker und von Lichtenberg[1]) die Sichtbarmachung von Nieren und Harnwegen durch Einschiebung des Harnleiterkatheters, Einspritzung von 10%igem Collargol und darauffolgende Röntgenaufnahme. Das Collargol haftet im Nierenbecken und gibt im Röntgenbild auf der photographischen Platte einen Schatten. Das Verfahren wird Pyelographie genannt (πύελος, Becken) und ermöglichte zum ersten Male die anatomische Darstellung der Harnwege. Es war ein grundsätzlicher Fortschritt für die Diagnostik chirurgischer Nierenleiden. Die Menge des Collargols schwankte je nach der Größe des Nierenbeckens zwischen 5 und 50 cm³, da das normalerweise etwa 5 cm³ fassende Organ sich unter pathologischen Bedingungen wesentlich erweitert. Da hierbei durch Übertritt des Collargols in die Blutbahn akute Argyrose und dadurch Vergiftungs- und Todesfälle vorkamen, so wurde das kolloide Silber durch Halogensalze, insbesondere 10%iges Natriumjodid, 20%iges Natriumbromid, 10%iges Lithiumjodid ersetzt. Die hiermit erzielten Bilder waren zwar vollkommen, ebenso wie die mit Collargol erhaltenen, indessen hatte diese Methode Grenzen, Lücken und Gefahren. Nicht bei jedem Kranken ist der Blasenspiegel einführbar, die Sondierung des Harnleiters kann auf unüberwindliche Schwierigkeiten stoßen, und schließlich gibt es Krankheiten, bei denen diese Manipulationen generell schaden können und grundsätzlich unterlassen werden müssen.

Man suchte deshalb diese Pyelographie durch eine Methode zu ersetzen, bei welcher das Kontrastmittel auf dem natürlichen physiologischen Wege zur Einführung gelangte. Dieser Gedanke lag um so näher, weil die Niere ein Ausscheidungsorgan des Körpers ist und darum auch unter Umständen zur Ausscheidung des Kontrastmittels herangezogen werden konnte. Völcker und von Lichtenberg haben deshalb gleich zu Anfang entsprechende Versuche mit kolloidem Silber, Quecksilber und Wismut angestellt, kamen aber wegen deren Giftigkeit bei intravenöser Anwendung zu keinerlei Erfolg. Im Jahre 1923 versuchten Rowntree, Osborne und Scholl die Lösung des Problems durch große intravenöse Gaben von Natriumjodid, wobei ihnen zwar die Sichtbarmachung der Harnblase gelang, dagegen gaben die oberen Harnwege keinen deutlichen Röntgenschatten. von Lichtenberg und Rosenstein suchten die mit Natriumjodid erhaltenen Bilder dadurch zu verbessern, daß sie die Niere mit einem eingespritzten Mantel von Luft oder von Sauerstoff umgaben. Auch diese Versuche führten zu keinem klinisch brauchbaren Resultat, ebensowenig wie die Arbeiten von Volkmann und Lennarduzzi und Pecco, weil die Konzentrierung des Natriumjodides durch die Niere nicht ausreichte, um in den Harnwegen diejenige Anreicherung des Salzes zu bewirken, welche röntgenologisch notwendig ist. Einen entschiedenen Fortschritt bedeuteten deshalb die Untersuchungen von Roseno, welcher das Natriumjodid mit Harnstoff vereinigte (Pyelognost), um durch die bekannte Wirkung des Harnstoffs auf die Niere diese zu einer stärkeren Tätigkeit und zur Anreicherung des Natriumjodides anzuregen. Indessen

[1]) Münch. med. Wchschr. I, 1 [1906].