

## ZUR ONTOLOGIE DER NATURGESETZE \*

1. Die moderne Naturwissenschaft versteht sich selbst als Erforschung der Naturgesetze, zumindest seit LEIBNIZ. Der Begriff des Gesetzes hat die Kategorie der Form mit neuem Inhalt erfüllt. LEIBNIZ schreibt an de VOLDER: "Dass ein bestimmtes Gesetz beharrt, welches alle zukünftigen Zustände des Subjekts, das wir als identisch denken, in sich schließt, das eben macht die Identität der Substanz aus." – "Ob wir dieses Prinzip nun als 'Form', als 'entelécheia' oder als 'Kraft' bezeichnen, darauf kommt es nicht an."<sup>1</sup> Um die Mitte des XX. Jahrhunderts sagte Werner HEISENBERG in Zürich: "Man erkennt hier auch, dass mit der Feststellung des einen Grundstoffs nur wenig gewonnen ist und dass vielmehr der ganze Reichtum erst in den Formen steckt."<sup>2</sup> "Die Harmonien der Pythagorer, die KEPLER noch in den Bahnen der Gestirne zu finden glaubte, sucht die Naturwissenschaft seit NEWTON in der mathematischen Struktur des dynamischen Gesetzes."<sup>3</sup> Der Mathematiker Hermann WEYL schreibt: "Vielleicht ist es für eine Naturphilosophie am meisten charakteristisch, wo sie den Heraklitischen Fluss sich 'zum Starren waffnen' lässt: ARISTÓTELES in den immanenten substantialen Formen, PLATO in den transzendenten Ideen, die moderne Naturwissenschaft gleich LEIBNIZ im Gesetz."<sup>4</sup> Und Carl Friedrich von WEIZSÄCKER schrieb zum 60. Geburtstag von Heinrich SCHOLZ (1944): "Die mathematische Form, in der Tat eine Art einer *causa formalis*, bleibt in der Physik als letzter fassbarer Gehalt unserer alten Kausalbegriffe übrig... Wir finden also mit LEIBNIZ im mathematischen Naturgesetz den Geist in der Materie."<sup>5</sup> Die Frage: Was ist ein Naturgesetz? berührt daher nicht nur Naturwissenschaften, sondern auch die Philosophie.

2. Als eine vorläufige Definition wird vorgeschlagen: *Ein Naturgesetz ist die strukturelle Determination einer Reihe von realen Phänomenen*. Es bleibt dabei offen, ob die Phänomene statischer Natur sind (wie die Struktur eines Kristalles), oder stationär bewegt

---

\* XIV Int. Kongress der Philosophie, Wien 1968. Diskussionsbeitrag: Plenarsitzung V: Philosophie und Naturwissenschaft. Publiziert in Kongressakten I, S. 635-641.

<sup>1</sup> LEIBNIZ, *Philos. Schriften*, ed. Carl Imm. GERHARDT, Berlin 1879 (Neudruck 1966), Band II, S. 264.

<sup>2</sup> HEISENBERG, *Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft*, Hirzel-Stuttgart 8.A. 1948, S. 97, Z. 32-34.

<sup>3</sup> *Ib.* S. 51, Z. 25-29

<sup>4</sup> WEYL, *Philosophie der Mathematik und Naturwissenschaft*, im Handbuch der Philosophie, Oldenburg, München-Berlin 1927, Band II, A, S. 135, Z. 42; S. 136, Z. 2. Nota vom Hg: Gerhard FREY, *Gesetz und Entwicklung in der Natur*, München 1985. Auf der Arbeit von Frey mit G. Faltings und K. Ribet basiert die Lösung des "Grossen Fermat'schen Satzes" durch A. Wiles v.d. Princeton University / New Jersey. Er wurde 1997 von der Göttinger Akademie der Wissenschaften mit dem Wolfkehl-Preis ausgezeichnet. Quelle: *Bild der Wiss.* X. 1997, S. 100.

<sup>5</sup> WEIZSÄCKER, *Zum Weltbild der Physik*, Hirzel-Stuttgart 4.A. 1949, S. 168, Z. 1-10.

(wie ein Planetensystem oder die Elektronenhüllen eines Atoms), oder dynamisch, das heißt Ereignisse oder Geschehnisse. Das Wort "Phänomen" soll hier im ursprünglichen Sinn von "phainetai" verstanden werden als etwas, was sich zeigt, sich offenbart. Da die Begriffe "Determination" und "Reihe" ohne weiteres verständlich sind, bleibt als nächste Frage: Was heißt "Struktur"?

3. *Struktur ist ein geordnetes System von Relationen.* In den Wortschatz der Wissenschaften der Gegenwart - von der Mathematik und formalen Logik über Physik, Chemie, Biochemie, Biologie bis zur Psychologie und Soziologie - gehen immer mehr Begriffe ein wie: *Relation, Struktur, Ordnung*; und demzufolge die Kategorien: *Isomorphie, Symmetrie, Harmonie, Komplementarität* (Hermann WEYL<sup>6</sup>, Niels BOHR<sup>7</sup>). Das strukturelle Denken entspricht einem *integralen* Grundzug: Die Struktur wird als eine *Ganzheit* betrachtet; und die Relationen werden definiert als "kleinste Einheiten in der Struktur", während die Struktur-Elemente – physikalische Elementarteilchen zum Beispiel – durch ihre Relationen, ihre Wechselwirkungen bestimmt werden, und nicht umgekehrt. ("Hadronen" sind stark wechselwirkende Teilchen, "Leptonen" schwach wechselwirkende Teilchen.)<sup>8</sup>

4. Die moderne Mathematik und Grundlagenforschung sieht ihr Wesen und ihre Aufgabe immer mehr in der Erforschung aller *möglichen Strukturen*. Am meisten fortgeschritten in dieser Richtung ist das Werk "Éléments de mathématiques" des Arbeitskreises Nicolas BOURBAKI<sup>9</sup>. Das fruchtbarste Anwendungsgebiet mathematischer Strukturen ist zweifellos die *Physik*, die wir darum als Wissenschaft der *realisierten oder aktualisierten Strukturen* ansehen können. Diese Auffassung prägt sich vor allem aus in HEISENBERG's Bemühungen um eine generelle Strukturformel der Theorie der Elementarteilchen<sup>8</sup>. Philosophisch bedeutet es das Auftauchen eines ontologischen Grundes der Naturgesetze eben als Real-Strukturen.

5. Bedeutende philosophische Richtungen wie der Neopositivismus bezweifeln aber gerade, ob wir die Naturgesetze "Real-Strukturen" nennen können. Das Problem einer "existentiellen Objektivierbarkeit" der Naturgesetze tritt somit auf: *Gibt es ein reales und objektives Korrelat des noëtischen Sinnes, welchen die mathematisch-symbolischen Formulierungen der Naturgesetze darstellen?* Voraussetzung einer möglichen Antwort ist ein Beweis oder wenigstens eine Aufzeigung der ontischen Wirklichkeit der Naturgesetze.

---

<sup>6</sup> WEYL: *Symmetry*. Princeton University Press, 1952.

<sup>7</sup> BOHR: *Die Atome und die menschliche Erkenntnis*, Braunschweig 1958.

<sup>8</sup> In der Mikrophysik ist das strukturelle Denken konsequent durchgeführt von HEISENBERG, Einführung in die einheitliche Feldtheorie der Elementarteilchen, Hirzel, Stuttgart 1967.

<sup>9</sup> BOURBAKI, *Éléments de mathématique*, Hermann, Paris 1938 ss.

6. Es gibt zumindest drei Wege, die formal verschieden, aber material eng zusammenhängend sind (wegen der Korrespondenz zwischen Ordnung und Realität), um die objektive Existenz der Naturgesetze darzulegen:

*Erstens:* Wir gehen aus von der Erfahrung einer unwahrscheinlichen Ordnung in der Welt – im elementaren, atomaren, molekularen, kristallinen, biochemischen, vitalen, menschlichen und kosmischen Bereich. Diese aufsteigende Ordnung widerspricht der Wahrscheinlichkeitsrechnung, die in die Physik eingeht mit dem zweiten Prinzip der Thermodynamik, dem sogenannten “Entropie-Satz” (in der Fassung von Ludwig BOLTZMANN:  $S=k \cdot \log \text{ nat } W^{10}$ ). Zweifellos ist ein geordneter Zustand eine Ausnahme-Erscheinung im Vergleich zu unzähligen ungeordneten und daher sehr viel wahrscheinlicheren Zuständen. Daraus kann man leicht die logische Schlussfolgerung ziehen: Ohne die Voraussetzung, dass es eine reale Determination der Erscheinungen durch objektiv reale Gesetze oder Strukturen gibt, müssten wir zugeben, dass wir in der unwahrscheinlichsten aller möglichen Welten leben. (Illustrative Beispiele finden sich bei Arthur Stanley EDDINGTON<sup>11</sup>).

*Zweitens:* Der zweite Beweis stützt sich auf die intuitive Unterscheidung zwischen der realen Welt, die wir im wachen Zustand erfahren, und der Welt der Träume, der Vorstellungen, Einbildungen, Phantasien, Halluzinationen. (Es wäre interessant, hier einzugehen in eine Diskussion der “Zwischenstufen-Theorie des Realen”, die Pascual JORDAN – einer der hauptsächlichsten Mitbegründer der Quanten-Theorie- eingeführt und geistvoll verteidigt hat<sup>12</sup>.) Es dürften vor allem zwei Kriterien sein, welche die reale Welt des Wachseins auszeichnen: Erstens die *Kausalität*, die uns erlaubt, mit Sicherheit wirken und Wirkungen erfahren zu können; und zweitens die *logische Struktur*, die *Gesetzmäßigkeit*, die sich ausdrückt in der Ordnung der wach erlebten, der realen Welt. In der Traumwelt hingegen ist alles durcheinandergewirbelt, wie in einem Kaleidoskop; es ist eine Kino- und Filmwelt mit schroffem Wechsel der Szenen. Nunmehr ist die Frage ganz natürlich: Wenn alle unsere Erlebnisse so diskontinuierlich, plötzlich und überstürzt wären, so ohne Gesetzmäßigkeit, wie wir es im Traum erleben: wäre es uns dann möglich zu denken, dass all diese Bruchstücke von Erlebnissen Teile einer wirklichen und objektiven Welt bilden könnten? Die Umkehrung und Schlussfolgerung aus diesem Gedankengang ist klar: Wenn das auszeichnende Kriterium der Unterscheidung einer physikalischen Realität von den Träumen und Phantasien in der logischen Struktur beruht, welche die Naturgesetze verkörpern: Warum sollten diese Strukturen nicht etwas Reales enthalten? Dasjenige, was

---

<sup>10</sup> Zur Diskussion: Wolfgang BÜCHEL in “Physikalische Blätter” 17 (1961) 350-355; 18 (1962) 400-403; J.D.FAST: Entropie, Hamburg 1962.

<sup>11</sup> EDDINGTON, *The Nature of the Physical World*, Cambridge 1928.

<sup>12</sup> JORDAN: *Anschauliche Quantentheorie*. (Schlusskapitel), Springer-Berlin 1936.

Index der Realität ist und ihr Verhalten bestimmt (determiniert): ist jenes Prinzip nicht auch und gleichfalls real, wirklich, selbst wenn es eine andere Seinsweise hat als die sichtbaren Dinge?<sup>13</sup>

*Drittens:* Ein Ziel der Erforschung der Naturgesetze ist die Prognostizierbarkeit künftiger Ereignisse. Beispiele dafür gibt es genug in der Geschichte der Wissenschaften. Es handelt sich nicht nur um die Berechnung des Verhaltens bereits bekannter Körper – z.B. des Zusammentreffens einer Rakete mit einem Planeten –, sondern auch um die Voraussage völliger Neuentdeckungen auf Grund von mathematisch formulierbaren Naturgesetzen. In der Astronomie sind die bekanntesten Beispiele die Entdeckungen der Transuran-Planeten Neptun (1848) und Pluto (1930). In der Chemie führte die Gesetzmäßigkeit des Periodischen Systems zur Entdeckung bzw. künstlichen Erzeugung (mit kernphysikalischer Technik) vorher unbekannter Elemente (43 Technetium, 61 Promethium und die Transuran-Elemente mit den Ordnungszahlen 93 bis 105). In der Physik ist die Voraussage der Existenz von Elementarteilchen auf Grund der Theorie eine bekannte Tatsache, seit 1930 Paul Adrian Maurice DIRAC<sup>14</sup> aus der relativistischen Wellengleichung des Elektrons ein Komplementärteilchen vorausgesagt hatte; und heute ist die Theorie der Elementarteilchen (SU<sub>3</sub>, SU<sub>6</sub>, SU<sub>12</sub>-Symmetrien<sup>15</sup> und besonders HEISENBERG's "einheitliche Feldtheorie"<sup>8</sup>) nahe daran, ein *allgemeines Rahmengesetz* aller Teilchenarten aufzustellen: der schon gefundenen (z.B. 1964 das Omega-minus-Hyperon auf Grund der zehndimensionalen Darstellung der SU<sub>3</sub>-Symmetrie) und der noch aufzufindenden Teilchen, analog den "weißen Flecken" auf einer Landkarte oder den "Leerstellen" im Periodischen System. Die ontologische Schlussfolgerung aus diesen physikalischen Tatsachen ist: *Die Prognostizierbarkeit künftiger Ereignisse ist sinnvoll nur denkbar, wenn die Naturgesetze, auf Grund deren die Voraussage erfolgte und sich später experimentell bestätigte, nicht nur im Kopf eines Physikers oder auf dem Papier, sondern als Real-Strukturen in der physischen Wirklichkeit existieren.*

7. Die nächste Frage ist die "essentielle Objektivierbarkeit" der Naturgesetze: Wenn diese ein *reales* Determinations-Moment darstellen, welche besondere Seinsweise kommt ihnen dann zu? Wir kennen drei Arten von physikalischen Entitäten, die bis heute noch nicht auf eine einzige "Grundsubstanz" zurückgeführt werden konnten, nämlich die Materiefelder (deren Quanten Fermionen sind), die elektromagnetischen Felder (mit Bosonen als Quanten) und die Gravitationsfelder (mit den hypothetischen Gravitonen als Quanten). Zweifellos ist

---

<sup>13</sup> Louis de RAEYMAEKER hat mich in einem Gespräch im März 1964 auf die Bedeutung einer Untersuchung des Unterschiedes zwischen Wach- und Traum-Erleben für das Seinsproblem hingewiesen.

<sup>14</sup> DIRAC, *The Principles of Quantum Mechanics*, Oxford 4.A. 1957, Schlusskapitel.

<sup>15</sup> M. GELL-MANN: "Phys.Rev." (1962) 1067; Y. NE'EMAN: "Nucl.Physics" (1961) 222. Über die sehr interessanten österreichischen (THIRRING) und russischen (IWANENKO) Beiträge vgl. HEISENBERG<sup>8</sup>, S. 173-174 (Verbindung zwischen Gravitation und einheitlicher Feldtheorie).

nun z.B. das Gravitationsfeld der Erde verschieden vom Schwerefeld der Sonne, beiden Feldern aber ist eines *gemeinsam*: nämlich das *Gesetz*, dessen Struktur in einfacher Weise und in erster Näherung die NEWTONsche Formel beschreibt; mit dieser bis auf einige Einzelheiten strukturell isomorph, aber sehr viel komplizierter die Tensor-Gleichung der Allgemeinen Relativitätstheorie EINSTEINs. *Mutatis mutandis* gilt die gleiche Überlegung vom Verhältnis der materiellen und elektromagnetischen Felder zu ihren generellen Gesetzen; der SCHRÖDINGER-Gleichung, den MAXWELLSchen Gleichungen. Daraus lässt sich als Begriffsbestimmung der Naturgesetze ableiten: *Strukturen, welche einer Klasse von physikalischen Entitäten (z.B. "Feldern") gemeinsam sind.* "Felder" sind nun zweifellos etwas Reales, was aus seinen Wirkungen erschlossen werden kann: In einem Gravitationsfeld fühlen wir Schwere, ohne ein solches nicht. Ein physikalisches "Feld" ist der "Inbegriff möglicher physikalischer Wirkungen". Aber ein "Feld" ist nichts "Materielles" im populären Sinn; es ist nichts Greifbares oder Fassbares. Wenn so die Immaterialität schon ein Charakteristicum der individuellen Konkretisierung des Feldes ist, umsomehr gilt sie vom Allgemeinen des *Gesetzes*. Und eben wegen seines Charakters des *Strukturell-Gemeinsamen* kommt dem Gesetz auch die Seinsweise der Unräumlichkeit und Überzeitlichkeit zu: Das Gravitations-Gesetz ist nicht nur in diesem oder jenem Teil des Universums anwesend oder zu bestimmten Zeiten gültig oder ungültig, sondern überall und zu jeder Zeit wirksam (wenn es nicht von einer höheren Macht aufgehoben wird).

8. Die essentielle Bestimmung der Naturgesetzlichkeit mit dem Charakter des *Strukturell-Gemeinsamen*, was sich in die beiden Komponenten des *Formalen* und des *Allgemeinen* zerlegen lässt, führt nun von selbst zu einem Vergleich mit der *causa formalis* in der aristotelischen Vier-Ursachen-Lehre. Sie ist klar zu unterscheiden von der jeweils individuellen Wirk-Ursächlichkeit oder Wechselwirkung als der *causa efficiens* oder "Kausalität im engeren Sinne". Beispiel: Das Einschieszen eines hochenergetischen Protons in die höheren Atmosphäre-Schichten kann die individuelle "causa efficiens" der Bildung von Multiplikations- und Kaskadenschauern sein; aber die *Form*, die *Struktur* der sekundären Gebilde folgt stets strengen Auswahlregeln (z.B. Erhaltung der Leptonen- und Baryonen-Zahl); es werden stets "*Rahmen-Gesetze*" erfüllt, welche den Charakter von bestimmenden *Formen* haben.

Zur Beleuchtung des Gesagten sei darauf hingewiesen, dass es in der Philosophiegeschichte Systeme gab, welche jeweils eine Komponente der zumindest doppel-seitigen Real-Determination leugneten: Der Atomismus von DEMOKRIT<sup>16</sup> und EPIKUR und seiner Nachfolger kennt nur "automatische und zufällige" Einzel- und Wirk-Kausalität, während LEIBNIZ mit seiner "präestablierten Harmonie" gerade den "influxus physicus"

---

<sup>16</sup> DEMOKRIT, DIELS-KRANZ II 68 (55) A 67-70: "autómaton kai týche".

leugnet und nur die Formal-Ursache einer allgemeinen Gesetzlichkeit zulässt (“les monades n’ont pas des fenêtres”).

Gegenüber solchen extremen Positionen vertreten wir die These, dass in Wirklichkeit eine *reale Distinktion* besteht zwischen den beiden Komponenten der physikalischen Determination: Gesetzlichkeit (*causa formalis*) und jeweils individuelle Wirksamkeit (*causa efficiens*), die beide – nach dem glücklichen Ausdruck von Niels BOHR – in einem Verhältnis der *Komplementarität* zueinander stehen. Das Gesetz ist gleichsam die Kette oder der Aufzug im Webstuhl der physikalischen Realität, dasjenige, was den “Rahmen” gibt (der Ausdruck “Rahmengesetz” gehört zum Vokabular der modernen Physik), während die Wechselwirkung in diesem Rahmen den “Schuss” oder “Einschlag” der individuellen Ereignisse webt.

9. Der Model-Charakter der Naturgesetze lässt sich ontologisch bezeichnen als *hypothetische Notwendigkeit*, genauer gesagt: *hypothetische Zwangsläufigkeit* der Ereignisse. Das will besagen: *Unter der Voraussetzung, dass dieses oder jenes Gesetz existiert, geschieht dies oder jenes; aber das Gesetz muss nicht sein, und es könnte auch anders sein, als es ist.* Das heißt: sowohl das Dasein wie das Sosein der Naturgesetze ist - ontologisch betrachtet- *kontingent*<sup>17</sup>.

10. Um die reale Aktualisation der Naturgesetze hervorzuheben gegenüber dem reinen Denkbareits- oder Möglichkeits-Charakter der mathematischen “Existenz”, möchte ich die Bezeichnung vorschlagen: *Naturgesetze sind Energie-Strukturen*<sup>18</sup>. Das Wort “Struktur” nennt das rationale, formal-logische Moment, das sich zumeist ausdrückt in der mathematisch-symbolischen Formulierbarkeit; das Wort “Energie” soll ein Hinweis sein auf die dazu komplementäre reale Determinations-Mächtigkeit. Zur *Modal-Analyse* sei nur gesagt: Während in der klassischen Physik die Energie –gemäss ihrer Definition; “Fähigkeit, Arbeit zu leisten” –einen mehr potentiellen Charakter hatte, mehr der aristotelischen “*dýnamis*” als der “*enérgēia*” vergleichbar war, neigt die aktuelle Physik der Elementarteilchen (vor allem HEISENBERG<sup>19</sup>) mehr dazu, “Energie” als ein substantiell-aktuales Sein aufzufassen.

11. Hervorzuheben ist noch der *Immanenz-Charakter* der Energie-Strukturen und damit des ihnen strukturell Gemeinsamen, der Naturgesetze, *innerhalb* der vom Menschen

---

<sup>17</sup> Vgl. Emile BOUTROUX, *De la contingence des lois de la nature*, Paris 1874.

<sup>18</sup> Den Hinweis auf den Ausdruck “Energie-Struktur” verdanke ich dem Chemiker Hans Georg GRIMM, Univ. Würzburg und München (†1958)

<sup>19</sup> HEISENBERG: *Einführung in die einheitliche Feldtheorie der Elementarteilchen*, Hirzel, Stuttgart 1967. S.3. Die Entwicklung der einheitlichen Feldtheorie der Elementarteilchen, in: “Die Naturwissenschaften” 50 (1963) H. 1, S. 3.

beobachteten und beurteilten Welt. Die rational-strukturelle Seite der Welt-Wirklichkeit – eben die Naturgesetze – und die qualitativ erlebte und wahrgenommene Welt bilden zwei Aspekte einer und derselben Realität; und diese beiden Aspekte können nicht voneinander getrennt oder losgelöst werden. So überträgt sich die Subjekt-Bezogenheit (nicht: Subjekt-Abhängigkeit; das wäre Idealismus) der qualitativ wahrgenommenen Welt auch auf die ihr immanenten physikalischen Strukturen, die nicht wie in einem platonischen Himmel an sich und für sich allein existierend gedacht werden können. Damit ist der weiteste Rahmen gespannt für das seit 40 Jahren von Physikern und Philosophen diskutierte Problem der *“Nicht-Objektivierbarkeit”* mikrophysikalischer Ereignisse, das heisst ihrer Unabtrennbarkeit vom Beobachtungsakt.

12. Die strukturell-gesetzmäßige Determinationsform durchzieht in hierarchischem Aufbau alle Bereiche der Wirklichkeit, vom elementaren Raum der Teilchen und Felder bis zum Menschen, in dessen Leib-Seele-Einheit sie sich mit der anderen Determinationsweise aus *Freiheit*, gemäss dem Sittengesetz, verbindet (das große Anliegen KANTs). In der Wissenschaftsgeschichte unseres Jahrhunderts fand das Wort *“Struktur”* immer mehr Heimrecht; mathematische, formallogische, physikalische, kristalline, bio-chemische, soziologische, ökonomische, philologisch-linguistische Strukturen; Struktur-Chemie, Struktur-Psychologie, usw. Vielleicht ist es möglich, auf dem angedeuteten Wege dem Ideal einer inneren Einheit der wissenschaftlich-philosophischen Forschung näherzukommen.