

Physikerrundbrief 4 (2001)

15. Februar 2001

Editorial

Asche auf mein Haupt! Ich habe den versprochenen Artikel über das quantenmechanische Messproblem und die quantenmechanische Behandlung der “Wurfparabel” nicht geschrieben. Letzteres scheiterte (ebenso wie mein Versuch, das zu deligieren) an dem nichttrivialen Problem, dass (m)ein schlaues Computeralgebrasystem zwar die dabei anfallenden Differentialgleichungen lösen kann, sich aber weigert, die lösenden Besselfunktionen *gebrochener Ordnung* zu zeichnen. Auch die *numerical recipes* oder gängige Funktions-Bibliotheken zur naturwissenschaftlichen Berechnung (elib usw.) haben mir nur Algorithmen für ganzzahlige Besselfunktionen angeboten. Und für eine Darstellung des Quanten-Zeno-Effektes hat mir diesmal die Zeit nicht gereicht. Ich will versuchen, das nachzuholen. ALlerdings ist diese Ausgabe ohnehin schon voll ...

Mein durchgerechnetes Beispiel einer Anwendung des Extremalprinzips hat zweierlei Reaktionen hervorgerufen. Verstehe ich Jürgen Vogt recht, pocht er darauf, dass Variationsprinzip und Rand- bzw. Anfangsbedingungen nichts miteinander zu tun haben, weil das eine das Funktional, das andere die daraus entwickelten Bewegungsgleichungen betrifft. Was ich meinte war dies: das Prinzip der stationären Wirkung liefert mir zum Extremalprinzip äquivalente Bewegungsgleichungen. Die Lösung solcher Bewegungsgleichungen können Kurvenscharen sein. Eindeutig wird die Sache durch die Anfangsbedingungen *oder* die Randbedingungen: Peter Schwab wies mich darauf hin, dass bei Vorgabe von Anfangsort bzw. -zeit *und* Endort/Endzeit die Bahn auch schon eindeutig bestimmt ist. Just diese Situation ist eben die Aufgabenstellung beim Extremalprinzip: $\mathbf{x}(t_1) = \mathbf{x}_1$ und $\mathbf{x}(t_2) = \mathbf{x}_2$.

Ich bitte zu entschuldigen, dass ich immer mehr, aber eben noch nicht ganz konsequent auf Schweizer Rechtschreibung verfallende ... Peter Schwabs Artikel habe ich eingetippt, eventuelle Fehler dort gehen auf mein Konto. Bitte beachten Sie die Artikel zur Frage des Urphänomens im Kielwasser der gewesenen Arbeitstage!

Jeder Rundbrief im Papierformat kostet die Sektion etwa 7 CHF an Kopier- und Versandkosten. Folgende Bankverbindungen bestehen: Raiffeisenbank St. Gallen, zugunsten der Allg. Anthr. Gesellschaft, Konto 90-970-5, bzw. GLS

Gmeinschaftsbank Bochum (BLZ 430 609 67), Konto 988 100 (Allg. Anthr. Gesellschaft). **In beiden Fällen bitte unbedingt als Verwendungszweck “Kostenstelle 60445/1129” angeben!** Herzlichen Gruss

Ihr Florian Theilmann

Inhaltsverzeichnis

Editorial	1
Das Hamiltonsche Prinzip der kleinsten Wirkung	2
Das Experiment von Einsingen und die Effekte von Cotton-Mouton und Voigt	4
Magnetooptische Effekte bei der Lichtdiffusion	6
Der photonische Hall-Effekt	7
Der photonische Magnetowiderstand	8
Begriffe der klassischen Physik	8
Urphänomene aus dem Gewebe des Kosmos?	13
Einleitung	13
Gegenwart	14
Unabhängigen Gesetzmäßigkeiten in der Erfahrung	
– Urphänomenen – begegnen	17
Zum Problem der Unabhängigkeit der Urphänomene	18
Ein Chor tätiger Talente	19
Was sind Urphänomene in der unorganischen Natur?	19
Adressenliste	24

Das Hamiltonsche Prinzip der kleinsten Wirkung

VON J. VOGT

Um mit Hilfe des Hamiltonschen Prinzips der kleinsten Wirkung ein mechanisches Problem zu lösen, muß meines Erachtens anders vorgegangen werden, als es Florian Theilmann im Physikerrundbrief 3/2000 vorschlägt. Der Ausgangspunkt ist die Lagrangefunktion $L = T - V$ des zu untersuchenden Systems. Am Beispiel des Wurfes wäre diese:

$$L = \frac{1}{2}m(\dot{x}_1^2 + \dot{x}_2^2 + \dot{x}_3^2) - mgx_3$$

Das Hamiltonsche Prinzip lautet, daß die "Variation" des Integrals

$$\int_{t_0}^{t_1} L dt, \quad (1)$$

also der Wirkung, Null ist, wenn die Bahn gegenüber der tatsächlich verwirklichten Bahn etwas verändert wird. Kurz schreibt man dafür:

$$\delta \int_{t_0}^{t_1} L(t) dt = 0 \quad (2)$$

Die Variationsoperation δ ist so zu verstehen: $x_i(t)$ sind die Koordinaten der wirklichen Bahn, $x'_i(t)$ die der variierten Bahn. Die Variation ist deren Differenz:

$$\delta x_i(t) = x'_i(t) - x_i(t) \quad (3)$$

Die variierte Bahn berechnet sich aus $x'_i(t) = x_i(t) + \delta x_i(t)$. Beim Hamiltonschen Prinzip wird zudem gefordert, daß die Variation zu den Zeiten t_0 und t_1 Null ist:

$$\delta x_i(t_0) = \delta x_i(t_1) = 0$$

Das Hamiltonsche Prinzip (2) der kleinsten Wirkung ist also eine Aufgabe der Variationsrechnung: die Lagrangefunktion ist bekannt, gesucht sind diejenigen $x_i(t)$, die bei einer Variation im Sinne von Gleichung (3) das Wirkungsintegral (1) nicht verändern. Die Lösung dieser Aufgabe wird in den Lehrbüchern unter dem Stichwort "Grundaufgabe der Variationsrechnung" behandelt. Im Prinzip wird der Integrand in eine Taylorreihe um die $x_i(t)$ entwickelt und die linearen Glieder Null gesetzt. Dieses Vorgehen führt auf die Euler-Lagrangeschen Differentialgleichungen für den Integranden. In unserem Falle sehen sie so aus:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{x}_i} - \frac{\partial L}{\partial x_i} = 0 \quad (i = 1, 2, 3 \dots n) \quad (4)$$

Für den Wurf ist $n = 3$ und wir erhalten drei Gleichungen:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} m \dot{x}_1 &= 0 \\ \frac{d}{dt} m \dot{x}_2 &= 0 \\ \frac{d}{dt} m \dot{x}_3 + mg &= 0 \end{aligned}$$

oder:

$$\begin{aligned} m \ddot{x}_1 &= 0 \\ m \ddot{x}_2 &= 0 \\ \frac{d}{dt} m \ddot{x}_3 &= -mg \end{aligned}$$

Das sind die gewöhnlichen Newtonschen Bewegungsgleichungen. Sind sie gefunden, hat das Hamiltonsche Prinzip der kleinsten Wirkung seinen Dienst getan. Alle weiteren Betrachtungen zu verschiedenen Anfangsbedingungen oder verschiedenen Bahnen zwischen zwei Punkten gehen darüber hinaus und haben eigentlich nichts mehr damit zu tun.

Das Experiment von Einsingen und die Effekte von Cotton-Mouton und Voigt

VON FRIEDRICH WILHELM DUSTMANN

Ende der 80-iger-Jahre kam durch eine Veröffentlichung aus dem Archiv der Rudolf Steiner-Nachlassverwaltung¹ etwas Bewegung in die Diskussion um das sogenannte Experiment von Einsingen. Es geht dabei um den Versuch mittels magnetischer Wirkungen das Lichtspektrum so zu modifizieren, dass man von einer Zusammenbiegung desselben sprechen kann. Die Experimente wurden zunächst in Stuttgart unter der Leitung von Rudolf E. Maier im wissenschaftlichen Labor der Gesellschaft „Der Kommende Tag“ durchgeführt, später dann in der Knopffabrik Alfred Maier in Einsingen, weil dort größere Stromstärken zur Verfügung standen. Das Heft der Nachlassverwaltung enthält vor allem Aufzeichnungen von R. E. Maier und seinem Mitarbeiter Hans Buchheim über den Versuchsaufbau, die Durchführung und die Ergebnisse.

1990 erschien dann eine Arbeit von Walter Landensperger², in der er durch eine Modifizierung der Experimentalanordnung versuchte, das Experiment mit dem Faraday-Effekt in Verbindung zu bringen. Beim Faraday-Effekt wird durch ein Magnetfeld in Ausbreitungsrichtung des Lichtes (Longitudinaleffekt) eine zirkuläre Doppelbrechung erzeugt, d.h. in einem geeigneten Medium erhält links-zirkular polarisiertes Licht einen anderen Brechungsindex als rechts-zirkular polarisiertes. Da linear polarisierte Licht als kohärente Überlagerung der beiden zirkular polarisierten Zustände betrachtet werden kann, wirkt sich diese Art der Doppelbrechung auch auf linear polarisiertes Licht aus und zwar in Form einer Drehung der Polarisationsrichtung, deren Größe von der Wellenlänge abhängt. Weißes, linear polarisiertes Licht ist nach dem Durchstrahlen eines magnetisierten Mediums immer noch weiß, aber es ist nicht mehr einheitlich linear polarisiert, da jeder Wellenlänge eine eigene Polarisationsrichtung zuzuordnen ist. Ein nachgeschalteter Linearpolarisator lässt deshalb vorzugsweise eine Farbe durch, nämlich die, deren Polarisationsrichtung durch die Drehung gerade mit der Durchlassrichtung des Filters zusammenfällt, während er eine andere, deren Polarisationsrichtung senkrecht zur Durchlassrichtung des Filters ist, vollständig unterdrückt. Dreht

¹Beiträge zur Rudolf Steiner Gesamtausgabe, Nr. 95/96, Dornach, 1987

²W. Landensperger, *Das Experiment von Einsingen*, in: *Elemente der Naturwissenschaft*, 52, S. 51, 1990

man diesen Polarisator, so verändert man die Durchlassrichtung und damit auch die absorbierte Farbe, so dass ein dunkler Absorptionsstreifen beim Drehen durch das Spektrum läuft, der nach dem Austreten auf der einen Seite sofort wieder auf der anderen Seite erscheint, als ob das Spektrum zum Kreis geschlossen sei. Besonders erwähnt werden sollte, dass bei dieser Anordnung auch die im normalen Spektrum nicht vorhandenen Pfirsichblüt-Farben in Erscheinung treten.

Landensperger beschreibt die weiteren Gründe, die ihn dazu veranlassten unter den bekannten magneto-optischen Erscheinungen den Faraday-Effekt auszuwählen, folgendermaßen:

Da bei der vorliegenden Fragestellung davon ausgegangen wird, daß es sich um ein mit bloßem Auge wahrnehmbares Phänomen handelt, muß die Eigenschaft der Doppelbrechung im zu verwendenden Medium angemessen ausgeprägt sein. Dies veranlasste den Verfasser alle Effekte in Gasen und alle transversalen Effekte in den übrigen Aggregatzuständen wegen ihrer Kleinheit auszuschließen. Werte hinreichender Größe liefert alleine der Faraday-Effekt, ein longitudinaler Effekt, bei welchem die Richtung des Lichtes und des Magnetfeldes parallel zueinander verlaufen.

Dies ist aber genau der Punkt, an dem die Kritik einsetzt, denn damit entfernt er sich deutlich vom ursprünglichen Versuchsaufbau, der damals nach den Angaben Rudolf Steiners vorgenommen wurde und in dem das Magnetfeld transversal zur Ausbreitungsrichtung des Lichtes orientiert war. Außerdem war das durchstrahlte Medium gerade doch ein Gas, nämlich Luft. Der Faraday-Effekt ist zu Steiners Zeiten bereits lange bekannt gewesen, so dass es unverständlich bliebe, warum er nicht als solcher bezeichnet wurde, wenn er gemeint war. Außerdem lässt er sich mit relativ gewöhnlichen Magneten realisieren, so dass der Aufwand, der damals betrieben wurde eigentlich unnötig gewesen wäre. Bei dem Experiment von Einsingen war aber ein quantitativer Effekt kaum zu beobachten und über die qualitativen Effekte (Farb- und Helligkeitsveränderungen) waren sich die Beobachter nicht einig. Entscheidend ist aber m. E. der völlig andere Aufbau. Aus den Skizzen von R. E. Maier geht eindeutig hervor, dass das Magnetfeld transversal zur Ausbreitungsrichtung des Lichtes angeordnet war. Der Ausschluss transversaler Effekte durch Landensperger erscheint deshalb zumindest als etwas voreilig. Solche transversalen Effekte sind wegen ihrer Kleinheit schwer nachweisbar und deswegen von vermeintlich geringer Bedeutung und weitgehend unbekannt. Sie waren aber wenige Jahre vor der Durchführung der Experimente bereits entdeckt worden, nämlich 1907 durch **A. Cotton** und **H. Mouton**³ für verschiedene Flüssigkeiten und glasartige Substanzen. Die beiden Forscher konnten zeigen, dass geeignet gewählte Medien durch ein starkes transversales Magnetfeld in Folge des sich einstellenden Dia- oder Paramagnetismus doppelbrechend werden, wobei der Unterschied in den Brechungsindizes für die parallel

³Vgl. M. Born, *Optik*, Berlin, Heidelberg, New York, 1973 (3. Aufl.), S. 360ff

bzw. senkrecht zur Magnetfeldrichtung polarisierte Durchsicht durch

$$n_p - n_s = C\lambda_0 H^2$$

gegeben ist. Wegen der Kleinheit der Cotton-Mouton-Konstante C hat der Effekt bei den damals möglichen Feldstärken eine wesentlich geringere Wirkung als der Faraday-Effekt. Andererseits ist die Wirkung proportional zu H^2 , nimmt also bei Vergrößerung der Feldstärke schnell zu, so dass bei hinreichend großen Feldstärken auch „mit bloßem Auge“ ein beobachtbarer Effekt zu erwarten ist. In Gasen ist der zu erwartende Effekt so gering, so dass er vermutlich bisher noch nicht beobachtet werden konnte.

Ein transversaler Effekt wurde von **Voigt** jedoch am Natrium-Dampf in unmittelbarer Nähe der Resonanzlinie beobachtet, also gerade an einem Gas. Infolge der Zeeman-Aufspaltung der Energieniveaus erhält man genau wie beim Faraday-Effekt zwei verschiedene Dispersionskurven für n_p und n_s , die die gleiche Gestalt haben, aber etwas gegeneinander verschoben sind. Daraus resultiert eine Doppelbrechung, die in der Nähe der Resonanzstelle genügend groß wird um sie messen zu können.

Das Experiment von Einsingen war so angelegt, dass man genau diesen Eindruck hat, dass ein Effekt gezeigt werden sollte, der mit den bisher vorhandenen Mitteln noch nicht gesehen wurde. Die Anordnung eines transversalen Magnetfeldes und die Forderung nach sehr großen Feldstärken legen eine Beziehung zum Cotton-Mouton-Effekt nahe, der aber in Luft meines Wissens bis heute noch nicht nachgewiesen worden ist. Ein weiteres Indiz dafür, dass es sich um diesen Effekt handelt, ist meines Erachtens darin zu sehen, dass Steiner großen Wert auf die Drehbarkeit des Magneten legte. Durch eine Drehung um die Symmetrieachse wird die optische Achse des doppelbrechenden Mediums mitgedreht und der Effekt tritt deutlicher hervor. Unklar bleibt dabei allerdings, inwiefern hier wirklich eine Zusammenbiegung des Spektrums vorliegt und warum der völlig analoge elektrooptische Kerr-Effekt nicht Verwendung fand.

Magnetooptische Effekte bei der Lichtdiffusion

VON FRIEDRICH WILHELM DUSTMANN

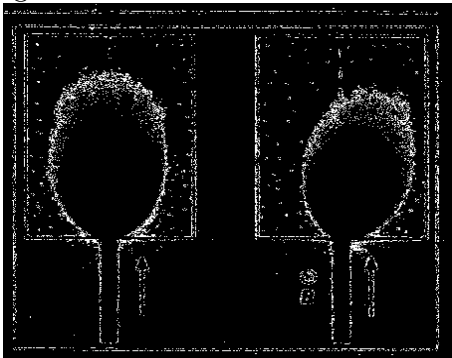
In den vergangenen 15 bis 20 Jahren ist ein neues Teilgebiet der Optik entstanden, das sich mit der Lichtausbreitung in trüben Medien befasst und unter dem Namen „Vielfachstreuung“ in der Literatur zu finden ist. Früher hielt man diesen Phänomenbereich für wenig interessant, da trübe Medien eine Bildentstehung im üblichen Sinn verhindern. Das hat sich aber inzwischen geändert, da man eine ganze Reihe von interessanten Phänomenen entdeckt hat, die sich im weiteren Sinn als Lichtdiffusion beschreiben lassen. Insbesondere zeigen sich gewisse Analogien zwischen der Lichtausbreitung und der Ladungsbewegung im

Magnetfeld, die hier u.a. auch wegen ihrer Beziehung zu dem Experiment von Einsingen kurz skizziert werden sollen. Ich stütze mich dabei vor allem auf einen Aufsatz von Diederik Wiersma⁴.

Der photonische Hall-Effekt

phothall.bmp

Das Experiment wurde am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Grenoble von Geert Rikken und Bart van Tiggelen⁵ durchgeführt und von dem zweiten der Autoren theoretisch vorausgesagt. Als Medium wurde Glycerol ($n = 1,48$) verwendet, das zur Entrübung mit CeF_3 -Pulver ($n = 1,62$) vermischt war. Die Pulverteilchen hatten eine Größe von ca. $2 \mu\text{m}$. Wichtig ist dabei, dass Glycerol nur einen sehr geringen Faraday-Effekt zeigt, während dieser für CeF_3 ausgesprochen groß ist. Infolge des Faraday-Effektes werden die Pulverteilchen optisch anisotrop und bekommen unterschiedliche Brechungsindizes für rechts- und linkszirkular-polarisiertes Licht. Wie jetzt das Licht gestreut wird, hängt weitgehend von der Gestalt und dem Brechungsindex der Streuteilchen ab.



Die beiden Autoren konnten zeigen, dass es bei Anlegen des Magnetfeldes eine Seitwärtsstreuung des Lichts gibt, die in ihrer Wirkung mit dem Hall-Effekt vergleichbar ist.

Abb. 1: Der photonische Hall-Effekt (D. Wiersma, 1997)

Die Abbildung zeigt, wie blaues Licht aus einem Lichtleiter austritt und sich im trüben Medium diffusionsartig ausbreitet (linkes Bild). Bei eingeschaltetem Magnetfeld wird die „Lichtwolke“ ähnlich wie ein elektrischer Strom beim Hall-Effekt nach rechts abgelenkt (rechtes Bild). Wie bereits bemerkt hängt dieser Effekt vom Brechungsindex und der Größe des Faraday-Effektes in der jeweiligen Substanz ab, d.h. in Luft ist, wenn überhaupt, nur eine extrem kleine Wirkung zu erwarten. Ob sie jemals nachgewiesen werden kann, ist ungewiss. Wie aus der Zeichnung hervorgeht, handelt es sich allerdings auch um einen Transversaleffekt, d.h. er passt insofern zu dem Versuchsaufbau von Einsingen. Andererseits wurde jedoch keine Ablenkung der Spektrallinien beobachtet, sondern eine qualitative Veränderung, die von einigen Beobachtern als Farbänderung, von anderen als Abdunkelung beschrieben wurde. Damit kommen wir zu einem weiteren Effekt, der im nächsten Abschnitt beschrieben wird.

⁴D. Wiersma, *Light follows the example of electrons*, Physics World, Nov. 1997, p.25f.

⁵G. L. J. A. Rikken, B. v. Tiggelen, *Observation of magnetically induced transverse diffusion of light*, Nature, **381** (May 1996), p. 54.

Der photonische Magnetowiderstand

Es ist bekannt, dass ein starkes Magnetfeld in einem elektrischen Leiter infolge der Lorentzkraft den spezifischen Widerstand vergrößert (Magnetowiderstand). Anja Sparenberg⁶ am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Grenoble konnte nun zeigen, dass es ein optisches Gegenstück zu diesem Effekt gibt, das ebenfalls auf dem Faraday-Effekt beruht. Untersucht wurde der Lichtdurchgang durch Europiumfluorid-Pulver. Dabei stellten die Forscher fest, dass die Lichtintensität nach Einschalten des Magnetfeldes abnimmt. Die Abnahme hängt quadratisch von der Feldstärke ab und beruht ebenfalls auf der Anisotropie des Pulvers im Magnetfeld infolge des Faraday-Effektes. Auch hier ist in Luft natürlich nur eine äußerst schwache Wirkung zu erwarten. Wie bereits erwähnt berichteten Augenzeugen des Experimentes von Einsingen von einer Abschwächung der Helligkeit der Spektrallinien, wie sie ja auch als Folge des photonischen Magnetowiderstandes auftreten sollte. Vielleicht lohnt es sich zu prüfen, ob ein solcher Effekt beobachtbar ist. Natürlich müsste auch geprüft werden, ob nicht die Erhitzung im Magneten und damit auch der umgebenden Luft, die so stark war, dass die Versuche manchmal unterbrochen werden mussten, als Ursache für die Veränderung der Spektrallinien durch Schlierenbildung in Frage kommen. Wegen des Fehlens genauerer Dokumentationen dürfte es allerdings schwierig sein hier zu einer Klärung zu gelangen.

Begriffe der klassischen Physik

VON PETER SCHWAB

Die dargestellten Überlegungen nahmen ihre Gestalt an auf meiner Suche nach einem intuitiven Verständnis des Wirkungsbegriffs. Dieser Begriff ist eingebettet in den weiteren Grundbegriffen Impuls, Energie und Kraft.

$$\begin{array}{ccc}
 & \text{Wirkung } S & \\
 \int p \, dr \nearrow & & \nwarrow \int E \, dt \\
 \text{Impuls } p & & \text{Energie } E \\
 \frac{dp}{dt} \searrow & & \swarrow \frac{dE}{dr} \\
 & \text{Kraft } F &
 \end{array} \quad (5)$$

Diese Schema scheint mir den vier Ursachen des Aristoteles [1] zu entsprechen.

$$\begin{array}{ccc}
 & \text{Ziel: Weswegen?} & \\
 \text{Form: Was?} \begin{array}{l} / \\ \backslash \end{array} & \text{Weshalb?} & \begin{array}{l} \backslash \\ / \end{array} \text{Stoff: Woraus?} \\
 & \text{anf. Anstoss: Woher?} &
 \end{array} \quad (6)$$

⁶A. Sparenberg et al., Phys. Rev. Letters, **79**, p. 757

Gemeint ist natürlich nicht eine Kongruenz der Begriffe, sondern dass das allgemeine Konzept des Aristoteles auch auf der abstrakten Ebene der theoretischen Physik seinen Abglanz findet.

So wie Aristoteles sich zunächst den mittleren Begriffen *Form* und *Stoff* zuwendet, so will ich erst die Begriffe *Impuls* und *Energie* besprechen. Sie scheinen mir nahe bei dem zu liegen, was zu einer Beobachtungsbeschreibung benötigt wird; während die Begriffe *Ziel* und *Anfänglicher Anstoss* erst aufgrund von Nachdenken über die Beobachtung gebildet sind⁷. Wenn ich beispielsweise einen Bogen mit einem Pfeil spanne und loslasse, dann lässt die Spannung nach und der Pfeil schnell davon. Wenn ich nun dazu komme, das Davonschnellen als umgewandelte Spannung aufzufassen, habe ich einen ersten Energiebegriff gebildet. Julius Robert Mayer [2] charakterisiert Energien⁸ als (quantitativ) unzerstörliche und (qualitativ) wandelbare Objekte. Hiermit sind bereits Stoff- und Formaspekt angesprochen. Die Frage nach dem *Weswegen* und dem *Woher* gehen in anderer Weise über die Beobachtung hinaus. Robert Mayer greift den Newtonschen Kraftbegriff an: Newton selbst erklärt in Princ. I. Def. VIII ausdrücklich die Schwere für eine “causa mathematica” und warnt, sie für eine “causa physica” zu nehmen [3].

Für Mayer ist Energie der zentrale Begriff (der Physik) überhaupt. Nehmen wir zum Beispiel den freien Fall eines Gewichtes G aus der Höhe h_0 . Der Ansatz für die potentielle Energie $U = G \cdot h$ lässt sich plausibel machen. (Transport von Umzugskartons in den n -ten Stock.) Wir haben also mit der kinetischen Energie T :

$$T + Gh = Gh_0 \quad (7)$$

Mit Hilfe des Gesetzes des freien Falls $s = h_0 - h = gt^2/2$ erhalten wir

$$T = \frac{1}{2}Ggt^2 = \frac{1}{2}\frac{G}{g}(gt)^2 = \frac{1}{2}mv^2 . \quad (8)$$

Hiermit haben wir ein Maß für die Wucht des Aufpralls, wenn wir für v die Geschwindigkeit einsetzen, die der Körper unmittelbar davor hat. Seine grosse Bedeutung erlangt der Ausdruck $mv^2/2$ dadurch, dass wir darin die Bewegungsenergie schlechthin erblicken, unabhängig davon, wie die Geschwindigkeit v zustande gekommen ist⁹. So nützlich diese Überlegung auch ist – wir sogar damit die Wirkung dessen, was wir tun, abschätzen können, wenn wir ein Gewicht aus einer bestimmten Höhe fallen lassen – so muss doch gesagt werden, dass aus dem Energieprinzip allein nicht der freie Fall abgeleitet werden kann. Dieses Prinzip

⁷Impuls und Energie als fundamental anzusehen, verdanke ich Herrn Maier, insbesondere dem Einfluss des Mechanik-Kurses der Sommer-Uni Kassel 1996

⁸Er bezeichnet was wir Energie nennen als Kraft und spricht diese als Ursache an.

⁹Der Ausdruck stimmt, obwohl das Fallgesetz und der Ansatz für die potenzielle Energie nur näherungsweise gültig sind

wäre nämlich nicht verletzt, wenn das Gewicht nach dem Loslassen in der Luft (Vakuum) stehen bliebe.

In Ruhe bleibt ein Körper tatsächlich, wenn ihm eine waagrechte Unterlage geboten wird. Er drückt dann auf diese mit seinem Gewicht. Bei der schiefen Ebene findet eine Aufteilung in Drücken und Sich-in-Bewegung-Setzen statt. Was aber wird aufgeteilt?

Das Energieprinzip kann verschärft werden:

$$\frac{1}{2}mv^2 + U = E \quad (9)$$

Die Ableitung nach der Zeit ergibt

$$\left(\frac{d m v^T}{dt} + \frac{dU}{dr} \right) \cdot v = 0 \quad (10)$$

Hierbei bezeichne ich mit v^T den transponierten Vektor von v ; das ist v geschrieben als Zeilenvektor. Einen transponierten Vektor fasse ich auch als Linearform auf. Im vorliegenden Fall wird mit v^T also auch die Abbildung $v^T : \mathbf{R}^3 \rightarrow \mathbf{R}$, $x \rightarrow v^T \cdot x$ bezeichnet. Ich wähle diese Notation, um das Skalarprodukt als Matrizenprodukt schreiben zu können. Das ist vorteilhaft, wenn ansonsten in einem Ausdruck das Matrizenprodukt und das Skalarprodukt gemischt auftreten würden¹⁰.

Die obige Gleichung kann so in Worten ausgedrückt werden:

die Summe der Linearformen, welche die zeitliche Änderung des Impulses $p = mv^T$ und die örtliche Änderung der potenziellen Energie U beschreiben, verschwindet stets bei der aktuellen Geschwindigkeit v . Die Bewegungsfreiheit des Massenpunktes kann eingeschränkt sein (schiefe Ebene. Vernachlässigung der Reibung). Den Raum der möglichen Orte, den sogenannten Lageraum, bezeichne ich mit $\mathcal{F} \subset \mathbf{R}^3$. Die Verschärfung besteht nun in dem Postulat, dass $\frac{dp}{dt} + \frac{dU}{dr}$ auf dem *gesamten* Tangentialraum von \mathcal{F} (den möglichen Geschwindigkeiten) verschwindet; insofern der Lageraum \mathcal{F} eine *unberändete* glatte Mannigfaltigkeit ist [4].

– Im Fall der schiefen Ebene nehme ich also zunächst an, dass ein Führungsmechanismus vorhanden sei, der die Bewegung auf die *Ebene* einschränkt, und nicht nur die Orte unterhalb dieser Ebene ausschliesst. Welche Einschränkungen automatisch erfüllt werden, und deshalb fallen gelassen werden dürfen, bleibt einer anschließenden Betrachtung vorbehalten. –

Das Postulat kann plausibel gemacht werden. Wenn keine Einschränkungen bestehen, gilt $\frac{dp}{dt} = -\frac{dU}{dr}$. In Worten: die Impulsänderung wird bestimmt durch das steilste Gefälle der potenziellen Energie. Der Wille $-\frac{dU}{dr}$ zur Impulsänderung

¹⁰Vor kurzem bekam ich die Arbeit von Herrn Conradt “Mechanics in space and counter-space”. Dies mag den letzten Anstoss dazu gegeben haben, den Impuls zu “kippen” statt $\frac{dU}{dr}$ aufzurichten zu ∇U . Nun gilt $p = \frac{dT}{dv}$.

bleibt erhalten, auch wenn die Bewegungsmöglichkeit eingeschränkt wird. Er kann sich dann nur unter Umständen nicht mehr ganz in Impulsänderung umsetzen. Stattdessen tritt er als Druck oder Zug am Führungsmechanismus in Erscheinung. Die Kraft, welche der Körper auf den Führungsmechanismus ausübt, stammt also aus dem nicht umgesetzten Willen. Das ist die gewollte vermindert um die tatsächliche Impulsänderung: $-\frac{dU}{dr} - \frac{dp}{dt}$. Die zugehörige Gegenkraft, welche der Führungsmechanismus auf den Körper ausübt, die sogenannte Zwangskraft, ist somit $\frac{dp}{dt} + \frac{dU}{dr}$. Da der Lagenraum als glatt angenommen ist, wird innerhalb \mathcal{F} der Impulsänderungswille vollständig umgesetzt. Formal ausgedrückt¹¹:

$$\left. \frac{dp}{dt} \right|_{T_r \mathcal{F}} = - \left. \frac{dU}{dr} \right|_{T_r \mathcal{F}} . \quad (11)$$

Dies ist gleichbedeutend damit, dass die Zwangskraft auf $T_r \mathcal{F}$ verschwindet. Nick Thomas hat vorgeschlagen, die Kraft einmal nicht als Bewegungsgrund, sondern als Bewegungshinderungsgrund aufzufassen¹². Auch ich bin der Meinung, dass es für eine klare Darstellung vorteilhaft ist, zu vereinbaren das Wort Kraft nur in diesem Sinne zu verwenden — wenigstens für eine gewisse Zeit.

Das Postulat lässt sich nun ganz allgemein formulieren. Gegeben seien n Punkte mit dem Massen m_l an den Orten $r_l \in \mathbf{R}^3$ ($l = 1, \dots, N$). Ich schreibe die Ortsvektoren untereinander und erhalte so

$$\begin{pmatrix} r_1 \\ \vdots \\ r_N \end{pmatrix} =: (r_l)_{l=1}^N =: r \in \mathbf{R}^{3N} . \quad (12)$$

Durch einen Führungsmechanismus seine die möglichen Ortskombinationen der Massenpunkte (eventuell) eingeschränkt zu einer glatten randlosen Mannigfaltigkeit $\mathcal{F} \subset \mathbf{R}^{3N}$. Auf einer offenen Umgebung \mathcal{O} von \mathcal{F} sei ein Potenzial $U : \mathcal{O} \rightarrow \mathbf{R}$ gegeben. $I \subset \mathbf{R}$ sei ein offenes Zeitintervall und $r : I \rightarrow \mathcal{F}$ eine unter solchen Bedingungen physikalisch mögliche Bewegung des Massenpunkt-Systems. Sei $p = [(m_l \cdot \dot{r}_l)_{l=1}^N]^T$ das Impuls-System aller Massenpunkte. Dann gibt $\frac{dp}{dt} + \frac{dU}{dr}$ das Kräfte-System an, mit dem der Führungsmechanismus auf die Massepunkte wirkt; und dieses System verschwindet auf dem Tangentialraum $T_r \mathcal{F}$.

Dies ist das d'Alembertsche Prinzip in der Sprache der Mannigfaltigkeiten und unter Vermeidung so obskurer Begriffe, wie "Trägheitskraft" und "virtuelle Verschiebung". Der Verallgemeinerungsschritt, so wie er hier vorgenommen wurde, ist zwar naheliegend, aber nicht offensichtlich richtig, angesichts der möglichen "Kopplungen" mehrerer Massenpunkte. Und ich weiss nicht, ob es bis heute gelungen ist, das d'Alembertsche Prinzip aus einigen intuitiv zugänglichen und experimentell bestätigten Grundtatsachen zu beweisen. Ich verstehe eine Darstellung,

¹¹Mit $|_{T_r \mathcal{F}}$ bezeichne ich die Einschränkung der Linearform auf den Tangentialraum $T_r \mathcal{F}$

¹²Arbeitswochende, Dornach Nov. 1997

wie sie zum Beispiel Joos [5] gibt, als eine Tastbewegung in diese Richtung. Jedenfalls ist damit ein Differenzial-Prinzip formuliert. Was die Darstellung eines Integral-Prinzips angeht, so sehe ich bezüglich des Erkenntniswertes verschieden Qualitätsstufen:

1. Hinschreiben eines Integral-Prinzips und zeigen, dass dieses mit den Lagrangeschen Gleichungen äquivalent ist. Die Lagrangeschen Gleichungen entstehen ja durch eine mathematische Umformung des d'Alembertschen Prinzips.
2. Gemäss dem Vorschlag von Herrn Theilmann im Physikerrundbrief 2 (2000): *Allgemeiner* Ansatz eines Wirkungsfunktional. Dieses wird dann so bestimmt, dass die Lagrangeschen Gleichungen gelten.
3. Mit Hilfe von Plausibilitätsüberlegungen aufstellen eines Integral-Prinzips, welches nach eventueller mathematischer Umformung zu einem bekannten Integral-Prinzip führt. Also ein *zweiter* Zugang zu dem Bewegungsproblem, und dessen Lösung.
4. Intuitives Erfassen des Integral-Prinzips bezüglich der Wirkungsfunktion $S = \int_W p dr - E dt$. Dieser von Herr Dustmann im Physikerrundbrief 2 (2000) angeführte Ausdruck "schreit" ja förmlich danach. Man schaue noch einmal auf das hier anfangs gegebene Diagramm der vier Begriffe und bedenke, dass $\frac{dp}{dt} + \frac{dU}{dr}$ als Zwangskraft erkannt wurde.

Ich hoffe zum Punkt 3 in einiger Zeit etwas beitragen zu können.

Literatur

- [1] Zekel: Aristoteles Physik, Erster Halbband, Felix Meiner Verlag, Hamburg 1987. S. 63, 85
- [2] Neugebauer: Robert Mayer über die Erhaltung der Kraft, Band 12, Voigtländers Quellenbücher. Abhandlung "Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur". S. 38/39
- [3] Ebenda, siehe Abhandlung: "Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhang mit dem Stoffwechsel". S. 93/94
- [4] W. Milnor: Topology from the differentiable viewpoint, The University Press of Virginia, 1981. S. 1 bis 7
- [5] Joos: Lehrbuch der theoretischen Physik, Aula-Verlag 1989. S. 119 bis 123

Urphänomene aus dem Gewebe des Kosmos?

VON GEORG MAIER

Einleitung

Wenn angesichts der aus dem 19. Jahrhundert noch immer ererbten Auffassung der Wissenschaft der Eindruck vorherrscht, wissenschaftliches Vorgehen nach Goethes Vorbild sei ein exotisches Unterfangen, welches den Menschen, insbesondere den Wissenschaftlern fremd sei, so möchte ich im Gegenteil behaupten, dass es erst einmal die natürlichste Sache der Welt ist, ja sein muss. Unnatürlich ist vielmehr die anerzogene Frage nach den verborgenen Ursachen hinter den Dingen, die grundsätzlich nie zu einem Verständnis gelangen will. Rudolf Steiner (siehe: "Grundlinien einer Erkenntnistheorie der Goetheschen Weltanschauung", Kapitel 15. Die unorganische Natur; GA 320, 1. Vortrag) hat das von Goethe eingeführte Konzept der "Urphänomene" nach vieler Hinsicht erläutert. Dabei wird festgestellt:

1. Es handelt sich um Naturgesetze, welche in der Form dargestellt werden: "Wenn dieses Faktum mit jenem zusammenwirkt, so entsteht diese Erscheinung ..."
2. Im Urphänomen ist ein Vorgang aus seinen Verbindungen mit anderen herausgelöst und als Folge bestimmter Erfahrungselemente (Bedingungen) erklärt.
3. Die Gesamtheit des Unorganischen ist als ein System zu begreifen.

Vieles spricht dafür, die Summe der Urphänomene insgesamt als ein System von Grundtatsachen zu verstehen, aus welchen die Erscheinungen in der unorganischen Natur abzuleiten sind, wie Sätze in der Mathematik aus Axiomen abgeleitet werden. Dabei wären Urphänomene selbst nicht weiter der Erklärung bedürftig oder fähig. Es wird an dieser Stelle deutlich, wie es kommt, dass die beweisende Methode Kennzeichen der Erkenntnis der unorganischen Natur sein soll. Nun ist bis jetzt kein Lehrbuch der Physik bisher zustande gekommen, in welchem ein solches Programm auch nur ansatzweise durchgeführt wäre. Hinzuweisen ist hier auf das vierbändige Werk von Günther Ludwig, in welchem ein Axiomensystem der Physik entwickelt ist.

Von Goethe her, der sein Urphänomen der physischen Farbentstehung als ein einziges einführt, sieht die Aufgabe des Gewinnens eines Urphänomens so aus, wie wenn das selbe in der Welt zunächst allein stünde. Offenbar entspricht dies dem Umstand, dass es nicht möglich ist, zugleich ein ganzes Gewebe von Erscheinungen im Bewusstsein zu halten. Allerdings eröffnet gerade die von Goethe hervorgehobene Tätigkeit des "Übergehens von einer Erscheinung in die andere"

den Zugang zu gedachtem Gewebe. "Ein Vorgang weist uns auf einen anderen, von dem er abhängt; dieser auf einen dritten und so weiter." Es wird im Folgenden versucht, auf die beiden Aspekte, auf denjenigen der Einheit und auf denjenigen der Vielheit einzugehen.

Das Kind arbeitet sich spielend ins Physische ein. Im praktischen Lebensvollzug stützen wir uns auf einer weitgehenden Vertrautheit mit den sogenannten Naturgesetzen. In der kindlichen Entwicklung haben wir uns diese Vertrautheit tätig erworben in dem Gebrauch der Sinne und im mit diesem immer mehr verbundenen Bewegen der Glieder. Als wir soweit waren, selbst nicht mehr beim Stehen und Gehen umzufallen, haben wir ausführlich mit Bauklötzen die Bedingungen des Umfallens anderer Körper erforscht. Und mit wieviel Freude haben wir uns später bis zum Schwindligwerden um die eigene Achse gedreht!

Vom kindlichen Spielen und Staunen her kennen wir die Praxis des Daseins in der physischen Welt. Wenn ich mit einem Holzstück auf eine Schachtel schlage, sind die Schläge auch zu hören. Kippt der Becher mit Milch um, fließt diese, ihre Oberfläche ausbreitend, über die Tischfläche. Bei Wind werden Blätter und Papier hochgeblasen, die eben noch brav an ihren Orten gebunden blieben. Jeder Vorgang ist ein grosses Erlebnis ganz für sich. Er ist auch gar nicht abstrahiert von ursprünglichen Einssein mit dem eigenen Lebensvollzug.

Die Form des Naturgesetzes ist bereits vertraut: wenn bestimmte Umstände gegeben sind - so begleitet sie das ihnen entsprechende Phänomen. In der Begegnung mit unseren Eltern, mit anderen Kindern, im innigen Verbundensein mit den Lebensprozessen, im Umgang mit einem Tier haben wir überdies auch in anderen Reichen Erfahrungen gesammelt, in welchen ein Ereignis keineswegs in der gleichen Weise von überschaubaren Voraussetzungen abhängt. Merkwürdigerweise wird das Folgen eines entsprechenden Effekts auf eine ihn auslösenden Umstand gerade den Kindern gegenüber als Paradigma allen Geschehens in den Bereichen der organischen Natur sowie der Sozietät gebraucht: Wenn Du Dein Mützchen nicht anziehst, bekommst Du eine Erkältung, oder: Wer kein Gemüse isst, bekommt keinen Nachtisch.

Gegenwart

Im Vergleichen der verschiedenen, kontrastierenden Lebensbereiche, in welche wir herein gewachsen sind, stellt sich dann heraus, dass es einen Bereich gibt, in welchem Wenn-So-Beziehungen tatsächlich gelten, nämlich im Physischen. Das "So" hat allerdings eine besondere Bedeutung: streng genommen, muss man sagen: "wenn ich den Becher festhalte, so fällt er mir auch nicht herunter". Man sagt zwar, die Konstellation der gegebenen Bedingungen habe der betreffenden Vorgang zur Folge, sie erzeuge ihn, habe ihn zur Wirkung, aber man kann nicht meinen, die zusammen bestehenden Umstände wären Ursachen von Wirkungen, welche in der Folge in Erscheinung treten würden. Sonne bescheint die Regenwand vor mir und der Regenbogen erscheint zugleich. Ich sehe ja erst am Regen-

bogen, dass die Regenwand beschienen ist! Demnach setzen sich auch begonnene Vorgänge fort, stets der Art, wie es den sich weiter entwickelnden aktuellen Umständen entspricht. Im Moment, da ich einen Ball werfe, beginnt zugleich der Vorgang der Wurfbewegung, und dieser geht den Bedingungen gemäß laufend weiter. Dies gilt auch dann, wenn er unter nun veränderten Bedingungen von einem Mitspieler weggefangen wird.

Wäre es nicht eher angebracht zu sagen: Die Erscheinung oder der Vorgang besteht, solange die Bedingungen hierfür gegeben sind?

Sogar wenn die Bedingungen des physischen Geschehens durch ein physisches Eingreifen des Menschen neu gesetzt werden, können wir mit seinem beständigen Verhalten, nicht bloß mit seinen beständigen Bildungen vertraut werden, ihm vertrauen. Im Alten Testament (1. Mose 8, 9) wird die paradigmatische Erscheinung des Regenbogens zum Zeichen des Bundes, den Gott mit Noah, dem Vertreter der Menschheit, zum Abschluss der Sintflut eingeht: "Solange die Erde steht, soll nicht aufhören Saat und Ernte, Frost und Hitze, Tag und Nacht." Der Bund verspricht eine Beständigkeit des Kosmos, des Kosmos, welcher als das System der Gesamtheit des Unorganischen angesprochen worden ist.

Immer weist uns ein Vorgang auf einen anderen. Währenddem das Kind die Summe seiner Lebenserfahrungen in Form von Fähigkeiten seiner in Ausbildung begriffenen Leiblichkeit schult, ist der Erwachsene in der Lage, eine Erscheinung in den Kontext zu stellen, welcher ihm aus seiner gesamten Weltkenntnis zur Verfügung steht. Auf einmal werden nicht nur die gleichartigen Erfahrungen wichtig. Viel mehr als diese interessieren für eine Erkenntnis der Natur die sich thematisch anschließenden, gar die gegenteiligen Erfahrungen. Um das Gemeinte zu erläutern, möchte ich hier hinweisen auf ein konkretes Beispiel dafür, wie aus der Sache ein Vorgang auf andere weist: In einem geschlossenen, geheizten Raum wird die erwärmte Luft aufsteigen und es wird unten kälter sein als oben. Auch in der offenen Landschaft steigt die an der besonnten Erde erwärmte Luft auf, jedoch bleibt es, gerade wenn dies spielt, so, dass die Temperatur der Luft um ca. $0,6^\circ \text{C}$ pro 100 m mit zunehmender Höhe fällt! Wenn allerdings die Sonne nicht mehr zum Boden der Täler hinunter dringt, kommt es zur "Inversion", und in der Tiefe sammelt sich kalte Luft an. Einsicht ins Geschehen der unorganischen Natur gewinnen wir gerade dadurch, dass wir uns mit den einander ähnlichen, aber doch unterschiedlichen Fällen auseinandersetzen.

Einsicht kommt also nicht induktiv zustande, indem man darauf spekuliert, dass sich die Geschichte wiederholt, sondern indem man lernt, zu verstehen "worauf es ankommt", wenn sie sich gerade nicht wiederholt. Das innerliche Abkühlen aufsteigender Luft in der Landschaft wird man einsehen, wenn man sich auch mit den Fallwinden des Föhns bekannt gemacht hat, welche die Temperaturen in den Föhntälern dramatisch ansteigen lassen. Zur Einsicht in die Vorgänge in aufwärts und abwärts sich bewegenden Luftkörpern gehört weiter die Kenntnis der Abnahme des Drucks, und damit der Dichte in der Atmosphäre mit der Höhe - eine Folge von welcher das Fallen des Siedepunkts des Wassers ebenfalls mit der Höhe dar-

stellt. Dazu gehört auch, dass auf der Station Jungfraujoch zwar warme Speisen in den Restaurants angeboten werden, diese aber auf einer Station, die weiter unten gelegen ist, gar gekocht werden. Weiter muss man in Betracht ziehen, dass für das Verständnis der immer wieder ersaunlichen Wärme der Föhnluft in den Föhntälern der Zusammenhang mit dem Abregnen aus den gleichen Luftmassen in ihrem vorangegangenen Aufsteigen jenseits des Gebirgskamms wichtig ist.

So stellt sich die Einsicht in die Vorgänge der unorganischen Natur dar als das Ergebnis des denkenden Sich-Ausbreitens im Gewebe der Naturvorgänge. Diese Tätigkeit ist gemeint, wenn davon die Rede ist, dass Goethes Methode nicht ausgeht von allgemeinen gliedernden Prinzipien (als Art- und Gattungsbegriffe - siehe 1. Vortrag, Lichtkurs) sondern vom Verfolgen des allmählichen Übergangs der einen Erscheinung in die andere. Das Gewebe der Natur wird nicht synthetisch aus einzelnen zu setzenden Naturgesetzen gewoben, sondern was vorliegt, ist schon Gewebe, und es kommt darauf an, genügend weite Spannen desselben zu kennen. Insofern gehen wir im Erkennen analytisch vor.

Versuche können beim Entwirren der vielfältig vernetzten Gesetzmäßigkeiten der unorganischen Natur zu Hilfe genommen werden. Aus ihnen gehen auch physikalische Messgeräte, ja Maschinen hervor, die darauf angelegt sind, weniger vieldimensional mit dem natürlichen Beziehungsnetz zusammenzuhängen. Die Erforscher der Gebirge spürten sicherlich vor allem die zunehmende Mühe beim Atmen unter der Anstrengung des Aufsteigens. Aber es kam ihnen darauf an, dass sie Barometer mit sich führten als sie pionierhaft in grosse Höhen drangen. Sie bestimmten parallel zum Luftdruck den jeweiligen Siedepunkt des Wassers. Anderswo entwickelten Ingenieure die Dampfmaschine, welche anfangs auf dem Sog beruhte, der entstand, wenn Wasserdampf durch Abkühlung kondensierte. Sie funktionierte später anders, nämlich nach dem Prinzip der Expansion des Dampfes unter Abkühlung. Für den Unterricht kann eine Kolbenluftpumpe zur Demonstration der hier gemeinten adiabatischen Zustandsänderung herangezogen werden. Da ist zu zeigen, dass plötzliches Komprimieren bei gleicher Volumenänderung zu einer viel grösseren Steigerung des Drucks führt als die allmähliche (isotherme), wobei allerdings der Druck sofort nach Ende der Kompression auf den isothermen Wert zu sinken beginnt, unter Bemerkungen der (auch physikalisch bewanderten) Zuschauer, die Pumpe sei undicht.

Der eben geschilderte Streifzug durch assoziativ aneinander gereichte Einfälle aus der Thermodynamik ist nicht nach dem Geschmack dessen, der bedächtige Schritte für unerlässlich hält. Was angedeutet werden sollte, war die Vernetzung, innerhalb welcher wir uns zu schaffen machen, wenn wir in der unorganischen Natur von Einzellnem ausgehen.

Unabhängigen Gesetzmäßigkeiten in der Erfahrung – Urphänomenen – begegnen

Es wurde im Obigen versucht, ein wenig anzudeuten, wie das Verstehen der besonderen Erscheinung in der unorganischen Natur darauf beruht, seinen Ort im Gewebe des Kosmos gleichsam durch seine Ableitung aus den beteiligten Naturgesetzen anzugeben.

Das Problem besteht nicht in der modellmäßigen Erklärung der Mechanismen, welche vielleicht die Vorgänge verursachen. Worauf es ankommt in der Erfahrung, ist demjenigen durchsichtig, welcher im Fall der im Obigen jeweils eine Rolle spielenden Prinzipien, einzelne derselben zu unterscheiden gelernt hat. (Im Folgenden soll keine Reihenfolge gesucht werden!):

- Dass Erwärmen eines Gases unter konstantem Druck dessen Dichte vermindert, und umgekehrt,
- dass aber bei Expansion eines isolierten Gasvolumens bei fallendem Druck dessen Temperatur fällt, und umgekehrt (adiabatische Zustandsänderung),
- dass bei Kondensation von Wasserdampf aus einem Gas, in welchem er gelöst war, dasselbe erwärmt wird, und umgekehrt es sich abkühlt, wenn in ihm Wasser aus der kondensierten Phase in die Dampfphase aufgelöst wird (Kondensationswärme - Verdunstungskälte),
- dass das Sieden einsetzt, wenn der Dampfdruck dem Atmosphärendruck gleich ist,
- dass mit der Höhe der Luftdruck in der Atmosphäre abfällt und umgekehrt, wobei die Schichtung nach Maßgabe einer nach oben abnehmenden Dichte erfolgt.

Aus dem Gewebe des Wettergeschehens sind freilich noch viele und viele Grundprinzipien herauszulösen - man denke nur an die gegenläufigen Wirbelbildungen bei grossräumigen Luftmassenbewegungen auf der nördlichen, beziehungsweise südlichen Halbkugel der Erde. Auch wird man an die geheimnisvollen Erscheinungen des Verzugs bei der Kondensation aus der Gasphase zu denken haben, welche zusammen mit dem Verzug beim Gefrieren und dem Siedeverzug damit zusammenhängen, dass für die Bestimmung des "Entstehungsortes" der neuen Phase eine zusätzliche Bedingung erforderlich ist!

Die aufgeführten Prinzipien sind der Form nach Gesetze der unorganischen Natur. Sind sie damit Urphänomene? Ich muss zögern, sie bereits in diesen Rang zu erheben. Das liegt nicht daran, dass in ihnen Erscheinung und Bedingungen in sehr allgemeiner Art verknüpft sind. Denn dies ist unumgänglich, wenn sie über große Gebiete der Erfahrung regieren sollen. Goethe beschreibt eine Mannigfaltigkeit von Erscheinungen als die "dioptrischen Farben der ersten

Art”, zuletzt aber fasst er das Urphänomen in einer allgemein gehaltenen Feststellung zusammen, welcher sie alle genügen sollen. Zum Urphänomen gehören konkret geschilderte Beispiele in denen allen das allgemein ausgesagte Prinzip gesehen werden kann. Zweierlei ist für die hier aufgezählten Prinzipien noch nicht geleistet:

- Ihre gegenseitige Unabhängigkeit ist nicht erwiesen - wobei die jeweils angegebenen Bedingungen sehr wohl Unterschiedliche sind - und
- es fehlt an einem breiten Überblick über ihre Geltungsbereiche. So findet sich das Phänomen der Schichtung nicht nur in der Atmosphäre, sondern auch in Flüssigkeitsmassen, und umfasst auch noch in Fluiden schwebende feste Körper.

Es ist Goethes Verdienst, auf die Auflösbarkeit des erscheinenden kosmischen Geschehens nach Grunderscheinungen, nach Urphänomenen aufmerksam gemacht zu haben. Da sie zusammen Ausgangspunkte für eine Einsicht in die Rolle der zusammenwirkenden Bedingungen bei einzelnen Erscheinungen bieten sollen, sind sie selbst so zu fassen, dass sie nicht wiederum der neuerlichen Einsicht bedürftig seien - also sie sollen wie Axiome der Ableitung von Sätzen dienen können.

Vermutlich gibt die “phänomenologische” Thermodynamik ein besonders geeignetes Feld ab, wenn es darum geht, zu zeigen, worin die von Goethe angestrebte Erkenntnis der unorganischen Natur wesentlich besteht, da hier das Verhältnis zwischen modellmäßiger statistischer (modellmäßig ableitender) und phänomenologischer Thermodynamik einigermaßen geklärt ist.

Zum Problem der Unabhängigkeit der Urphänomene

Ins Weltbild des Erkennenden bringt sich ein weiteres Urphänomen so ein, wie eine durch Weiterbildung zusätzlich erworbene Fähigkeit. An einem Beispiel soll dies erläutert werden: Wer nicht die besondere Art der adiabatischen Zustandsänderung kennt, wird die Dampfmaschine sich so vorstellen, wie wenn der im Dampfkessel erzeugte Druck (ähnlich wie in der Hydraulik) den Kolben im Zylinder einfach vorantreiben würde. Es wird die Einsicht in die Notwendigkeit des Vorgangs fehlen, weil gar nicht die Frage nach den Begleitumständen der mechanischen Arbeitsleistung im Arbeitsmittel, dem Gas, gestellt wird. Erst wenn begriffen ist, dass ein abgemessenes Dampfvolument nach Schliessen des Ventils sich unter Arbeitsleistung abkühlt, kann von einer Einsicht gesprochen werden¹³.

¹³Von Rudolf Cantz wurde ich darauf aufmerksam gemacht, dass innerhalb des analogen Vorgangs in der Gasturbine innere Reibung der Strömung auf den Wirkungsgrad keinen Einfluss haben kann.

Der von Carnot aus adiabatischen und isothermen Phasen gedanklich konstruierte Kreisprozess hat erst die zyklisch arbeitende Arbeitsmaschine durchschaubar gemacht. Sollte man nun hergehen, und verlangen, dass erst der gemeinte Kreisprozess den Rang eines Urphänomens habe, da er doch umfassender sei als seine Phasen? Dann wären isotherme und adiabatische Zustandsänderung beide zwar ins System des Kosmos einbezogen, aber es würde nicht berücksichtigt, dass sie einzeln Bedingungen je einander ausschliessender Art vereinigen. Urphänomene sind nicht solche als Aussagen der allgemeinsten Art, sondern sie sind hinreichend bestimmte Ausgangspunkte aus welchen zur beweisenden Ableitung von Vorgängen geschritten werden kann.

Es stellt sich dann die Frage, ob Goethe in seinem Urphänomen der Farbentstehung tatsächlich zwei unabhängige Urphänomene vereinigt habe? Da müsste wohl in Erwägung gezogen werden, dass in einer physischen Situation beide Erscheinungen hervorgebracht werden, allerdings unter Wechsel des Standpunkts des Wahrnehmenden. Mir schien das Auftreten der Formel "und umgekehrt" in einigen der oben aufgezählten Prinzipien nach dieser Richtung der Vollständigkeit hin wichtig zu sein.

Ein Chor tätiger Talente

Die Gesamtheit der Urphänomene ist ihrer Natur nach nicht Konstrukt der Wissenschaft, das von einem empirisch gegebenen Wissensstand abhängt. Vielmehr ist sie identisch mit dem System, das als Gesamtheit des Unorganischen aktuell vorliegt, oder besser: west. Uns obliegt es, sie in der Erkenntnis zu unterscheiden, und wir tun dies angesichts des Naturgeschehens, das von seiner unorganischen Schicht beständig getragen wird. Am besten scheint mir die Sachlage verbildlicht durch einen Chor aus je einzigartigen Stimmen. Es ist hier bedenkenswert, wie Rudolf Steiner auf die Tätigkeit der Hierarchie der Elohim bei der Erschaffung des Menschen hinweist als eine Zusammenarbeit unter lauter Mitwirkenden, welche je ihre besondere Geschicklichkeit einbringen. (GA 122, Geheimnisse der Biblischen Schöpfungsgeschichte, Ende , 2. Vortrag). Die Urphänomene tragen als Individuen zum Naturprozess bei. So erscheint die Fruchtbarkeit des Ansatzes einer Erkenntnis der unorganischen Natur als System von Urphänomenen letztlich darin zu liegen, im Naturgeschehen die Beiträge der beteiligten Wesen einzeln zu schätzen lernen.

Was sind Urphänomene in der unorganischen Natur?

VON ROLF SPECKNER

Gegen Ende seines Buches "Grundlinien einer Erkenntnistheorie der Goe-

theschen Weltanschauung" beschreibt Rudolf Steiner im Kapitel "Das Natur-Erkennen", wie eine Goethesche Weltanschauung die unorganische Natur erkennt. Seine Schilderung wird im Folgenden nachvollzogen und erläutert werden. Dabei soll besonders hervorgehoben werden, wie Steiner den Begriff "Urphänomen" in diesem Bereich verwendet. In eckigen Klammern steht die Nummer des Absatzes im Kapitel "15.Die unorganische Natur", von dem die Rede ist.

[1] Einleitend umreißt Rudolf Steiner den Begriff der unorganischen Natur im Anschluss an Schillers Begriff des "Zustands".

Im 11. Brief über die Ästhetische Erziehung sagt Schiller, die Abstraktion "unterscheidet in dem Menschen etwas, das bleibt, und etwas, das sich unaufhörlich verändert. Das Bleibende nennt sie seine Person, das Wechselnde seinen Zustand."

Wo die Zustände des einen Dinges als Folge derer des anderen erscheinen, spricht man von unorganischer Natur.

[2] Zustandsveränderungen hängen von äußeren Bedingungen ab.

Charakteristisch ist für dieses Gebiet, dass weder die "Person" (das Bleibende) des einen Dinges eine Rolle spielt, noch die des anderen. Wenn ich eine Flasche kalte Milch aus dem Kühlschrank nehme und auf eine Tischplatte stelle, werden beide Gegenstände aufeinander reagieren. Die Wärme-Zustände gleichen sich einander an. Die Flasche bleibt aber eine Flasche und der Tisch ein Tisch.

[3] Die Bedingungen sind in der unmittelbaren Erfahrung undurchsichtig.

Jede der Tatsachen ist klar - nicht aber ihre Verbindungen. Ein aus der Begegnung von mehreren Tatsachen sich ergebendes Ereignis steht in einem vielfältigen Beziehungs-geflecht. Keine Tatsache ist ohne Wirkung, doch trägt jede in ihrer besonderen Weise zum Zustandekommen der vorliegenden Erfahrung bei. So kann ein Ereignis ohne bestimmte Tatsachen stattfinden, ohne andere aber nicht. Die Gestalt, die das Ereignis annimmt, wird von notwendigen Tatsachen bestimmt, von den Nebenumständen aber nur unwesentlich abgewandelt.

[4] Die Undurchsichtigkeit der unmittelbaren Erfahrung überwinden wir, indem wir durch Überlegungen und Versuche die Grundtatsachen, die als notwendige Bedingungen das zu Erklärende aus sich hervorgehen lassen, finden.

Dass uns ein Begriff fehlt, merken wir an einem inneren Mangelerlebnis: die vorliegende Kombination der Tatsachen wird als unklar erlebt. Wir suchen dann einfachere Kombinationen, die aus sich heraus klar sind und deren Zusammenwirken das Wesentliche der zu erklärenden Gestalt hervorbringt.

Zu dem, was in [1]-[3] als Voraussetzungen der Erkenntnis des Unorganischen beschrieben wurde, fügt Steiner in [4] eine Handlungsintuition hinzu.

Doch ist bei diesem Vorgehen etwas unbeobachtet geblieben. Ob ihm ein Vorgang in durchsichtiger Weise erscheint oder nicht, merkt nur der, der sein Denken mit Bewusstsein durchdringt. Dass jemandem ein Vorgang in durchsichtiger Klarheit erscheint, beruht darauf, dass er einen intuitiv erlebten Inhalt A mit einem zweiten B in Beziehung bringt und gewahr wird, dass notwendig aus diesen beiden ein dritter C entstehen muss. [Vgl.Phil.d.Freiheit. Kap.3]

[5] Die Erscheinung zeigt den Sinnen als unmittelbare Erfahrung ihr Wesen nicht. Sie verrät nicht einmal, dass sie es nicht zeigt. Erst indem wir denken, werden wir den Mangel der Erscheinung gewahr. Das Denken behebt ihn, indem es das Wesen enthüllt: wir schauen es unter der Form der Intuition an.

Die Erfahrung zeigt uns, welche Tatsachen im Zustandekommen eines Vorgangs zusammenwirken. Wenn unserem Denken die Weise des Zusammenwirkens vollkommen durchdringlich ist, können wir den Vorgang als erkannt ansehen. Die Tatsachen stehen für uns nicht mehr allein in einem empirischen Verhältnis, sondern in einem ideellen. Sie verhalten sich so, wie sie sich nach unserer Einsicht verhalten müssen, aber sie verhalten sich zugleich nach ihrer Natur.

[6] Der Geist bringt also Notwendigkeit in die Zufälligkeit. Der Eingriff des Geistes führt dazu, dass die zusammenhanglosen Einzelheiten geordnet werden, so dass ein Geschehen als Folge der zusammenwirkenden Tatsachen erscheint.

[7] Dass die drei Winkel eines Dreiecks zusammen einem gestreckten gleichen, ist nicht unmittelbar klar. Es muss bewiesen werden. Das geschieht, indem einfache, evidente Grundtatsachen miteinander verbunden werden. Eine solche Grundtatsache ist, dass die beiden Winkel eines Z gleich groß sind. Gruppieren wir zwei spiegelsymmetrische Z-Winkel wie folgt (Abb.), brauchen wir sie nur

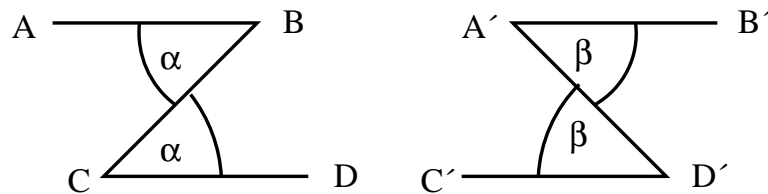


Abbildung 1: Z-Winkel

noch zusammenschieben, um den Beweis für die Gleichheit der Summe der Innenwinkel eines beliebigen Dreiecks mit einem gestreckten Winkel vor uns zu haben (Abb.). Das geometrische Beispiel zeigt, wie wir aus einfachen Grund-

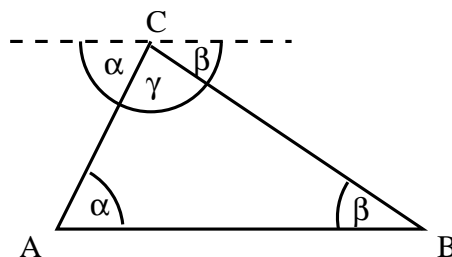


Abbildung 2: Winkelsumme im Dreieck

tatsachen komplizierte verstehen können.

[8] An der unmittelbaren Erfahrung des Steinwurfs entdecken wir drei beteiligte Kräfte: meine Stoßkraft, die Erdanziehung und die Reibung.

[9] Die beiden ersten Kräfte sind die wesentlichen, die dritte ist nebensächlich. Wesentlich nenne ich die Kräfte, die der Bahn die ihrem Begriffe entsprechende Parabelform geben. Nebensächlich nenne ich diejenigen, die die Parabelform stauchen oder dehnen, aber nicht aufheben.

Lasse ich allein die Kraft der Erde und die des Luftwiderstandes wirken, dann fällt der Stein auf einer Senkrechten im gebremsten Freien Fall. Lasse ich allein meine in waagerechter Richtung wirkende Stoßkraft und den Reibungswiderstand der Luft walten, so fliegt der Stein in waagerechter Richtung, wobei er langsam gebremst wird.

Wenn ich allein meine Stoßkraft und die Kraft der Erdanziehung walten lasse, entsteht unausbleiblich eine Parabel als Form der Flugbahn.

[11] Die Letztere wird durch die dritte Kraft nur variiert, bleibt aber als Parabel erkennbar.

[10] Daran können wir uns einen Begriff des Urphänomens bilden. Das Urphänomen ist eine vom Denken durchdrungene Wahrnehmung, die auf keine einfacheren Grundtatsachen zurückgeführt werden kann und braucht.

Die Durchdringung findet im begriffsgetragenen Sehen statt. Die Form des Wahrgenommenen wird zugleich beobachtet und gedacht. Sie erfließt zugleich aus der Erfahrung und aus der Denknötwendigkeit. Insofern sieht der Forscher seine Ideen mit Augen! Ohne Augen würde er die Form des Urphänomens nur intuitiv schauen. Ohne Denken würde er nur Farbflecke wahrnehmen, deren Formen er als zufällige beschreiben könnte.

Das Auffinden der Urphänomene ist ein Zusammenfügen von Wahrnehmung und Begriff und in diesem Sinne ein Erkennen.

[10] "In dieser Weise löst der Geist alle Phänomene der unorganischen Natur in solche auf, wo ihm die Wirkung unmittelbar mit Notwendigkeit aus dem Bewirkenden hervorzugehen scheint."

[13] "Dieses Urphänomen ist identisch mit dem objektiven Naturgesetz", betont Steiner und stellt der Goetheschen Anschauung die induktive Methode gegenüber, die auf die begriffliche Durchdringung der Wahrnehmung verzichten zu können behauptet. An die Stelle der Einsicht in die innere Notwendigkeit der Erscheinung tritt die suggestive Kraft ihres wiederholten gleichartigen Auftretens. Diese legt höchstens in suggestiver Weise weitere ähnliche Ereignisse nahe, kann aber grundsätzlich keine sicheren Aussagen machen. Die induktiven Gesetze behaupten daher immer Unbegriffenes.

Es ist für einen Forscher, der nach Goethes Weise die anorganische Welt betrachtet, oft möglich, denselben Wortlaut über ein Phänomen auszusprechen wie ein induktiver Forscher: "Wenn dieses Faktum mit jenem zusammenwirkt, so entsteht diese Erscheinung...". Da der in der Goetheschen Weise Forschende aber von der im Begriff erfahrenen Notwendigkeit durchdrungen ist, sagt er doch etwas ganz anderes. Es ist eben nicht dasselbe, wenn zwei dasselbe sagen.

[14] Rudolf Steiner fordert nicht eine Wissenschaft, die nicht vorhanden ist. Er beschreibt vielmehr, was die Arbeit des Wissenschaftlers charakterisiert.

Die Naturwissenschaftler machen sich nur oft über ihr eigenes Tun Illusionen. Es ist bekannt, dass gerade die Anhänger der Induktion, die das Denken für ein weltabgelegenes Geschehen im Oberstübchen halten, dem Menschen die volle Erkenntnismöglichkeit der Welt absprechen. Dies geschieht meist abends am Kamin-Feuer. Morgens schreiten sie dann fröhlich im Labor ans tägliche Erkenntnis-Werk.

[15-16] Was Rudolf Steiner ein Naturgesetz nennt, muss daher eine ganz bestimmte Form haben: "Wenn dieses Faktum mit jenem zusammenwirkt, so entsteht diese Erscheinung". Es ist kein Zufall, dass es sich um zwei Fakten handelt und nicht um sieben. Das Zusammenspiel von sieben Fakten wäre auf seine Grundtatsachen hin erst noch zu untersuchen! Solange diese Unterscheidung nicht geschehen ist, könnte von den komplizierten Phänomenen nur im Sinne einer Naturbeschreibung die Rede sein. Das Naturgesetz formuliert zugleich eine Beobachtung wie auch einen begriffenen Zusammenhang: eben dadurch ist es erkanntes Gesetz.

[17] Aller wissenschaftliche Fortschritt beruht auf dem sauberen Herausarbeiten der Urphänomene.

[18] Ein Urphänomen kann rein in der Idee hervortreten (Winkelsumme) oder durch Versuche in der Erfahrung (Wurfparabel). Indem der Forscher Versuchsreihen durchführt, entdeckt er, dass im Wandel der Erfahrung ein Teil erhalten bleibt, eine "höhere Erfahrung in der Erfahrung".

[19] Wenn wir Versuche anstellen, schaffen wir selbst die Bedingungen, die Erscheinungen hervorrufen. Unser Subjekt schafft die Bedingungen und zieht sich dann zurück. Die Natur der Dinge selbst bringt dann die Erscheinung hervor. Wenn sie so wirkt wie wir gedacht haben, fügen sich Wahrnehmung und Begriff zu einer begriffenen Einheit zusammen.

[20] Goethe und Schiller nennen das rationellen Empirismus.

[21] Das Erkennen der unorganischen Natur erfolgt in der Weise, wie es Steiner allgemein für das Erkennen beschrieben hat.

[22] Das verborgene Ziel des Erkennens ist immer die Wesensbegegnung: eine abgeschlossene Ganzheit erst gibt uns Befriedigung. Im unorganischen Bereich der Sinnenwelt findet sich aber keine Individualität, wenn auch Rudolf Steiner im Wärmekurs darauf hinweist, dass die Erscheinungen dahin drängen, Perpetuum mobile zu werden.[8.Vortrag.S.119-126]

[23] Nachdem Rudolf Steiner den Weg zur einzelnen, aus ihren Elementen verständlichen Erscheinung gewiesen hat, ruft er am Schluss in Erinnerung, dass diese nicht Ziel, sondern Mittelglied, Vorbereitung für das System der Urphänomene sein kann, durch das erst die Totalität zu Bewusstsein kommt.

Mehr imaginativ gesprochen bilden sich über den Urphänomenen, die als klare scharfumrissene Edelsteine in den Strom der Erfahrung versenkt werden, die Pfeiler, die es möglich machen, aus dem Reich der Erfahrung in das der Idee und wieder zurück zu gelangen. Es soll einmal die belebteste Brücke werden...

Dr. David Auerbach	Physiologisches Institut Harrachgasse 21/V A-8010 Graz	david.auerbach@kfunigraz.ac.at
Leopold Buchinger	Wischathal 59 A-2013 Göllersdorf	leopold.buchinger@siemens.at
Oliver Conradt	Benedikt-Hugi-Weg 11 CH-4143 Dornach	oliver.conradt@unibas.ch
Friedrich-Wilhelm Dustmann	Ypernstr. 154 57072 Siegen	DustmannFW@aol.com
Johannes Grebe	Pfalzburger Str. 83, HH 10719 Berlin	johannes.grebe@physik.hu-berlin.de
Friedrich Hartmann	Riensbergerstr. 93 28359 Bremen	Zugang3@aol.com
Michael Jacobi	Königsbergerstr. 27 79650 Schopfheim	
Johannes Kühl	Dorneckstr. 47 CH-4143 Dornach	johannes.kuehl@goetheanum.ch
Prof. Dr. Ludolf von Mackensen	Hugo-Preuß-Str. 3 34131 Kassel	
Frank Mast	Wölperwieseweg 11 D-72250 Freudenstadt	FrankMast@swol.com
Dr. Georg Maier	Quidumweg 18 CH-4143 Dornach	g.maier@goetheanum.ch
Prof. Dr. Ernst- August Müller	Schlesierring 44 37085 Göttingen	
Heinz-Christian Ohlendorf	Christbuchenstr. 143 34130 Kassel	
Albert Pröbstl	Ernsdorfer Str. 34 D-83209 Prien	
Alec A. Schaerer	Gempenstr. 10 CH-4053 Basel	sascha@magnet.ch
Klaus Schimpf	Mühlenstr. 10 07745 Jena	Klaus.Schimpf@t-online.de
Dr. Thomas Schmidt	Zum Upholz 1 33739 Bielefeld	thomas-cornelia.schmidt@ t-online.de
Dr. Konrad Schneider	Veilchenweg 50c D-01326 Dresden	schneider@ipfdd.de
Peter Schwab	Schildbusch 20 34369 Hombressen	
Hanspeter Seipp	Engadinerweg 1 CH-8049 Zürich	hpseipp@bluewin.ch
Wilfried Sommer	Walter-Leiske-Str. 46 60320 Frankfurt	dwsommer@aol.com
Rolf Speckner	Steenkamp 17 D-22607 Hamburg	rolf.speckner@t-online.de
Dr. Jörg Strempler	162 Lincoln Oaks Dr No. 1205 USA-Willowbroke IL 60514	strempler@anl.gov
Dr. Florian Theilmann	Zürcherstr. 4 CH-4143 Dornach	florian.theilmann@gmx.net
Jürgen Vogt	Brasselsbergstr. 42 34132 Kassel	Juergen_Vogt@gmx.de
Peter Wenger	Blütenhang 10 78333 Stockach	wenger@wenger-lehrmittel.de