



Ilya Prigogine: Handzeichnung von Herbert Klima

Ilya Prigogine: Wissenschaft und schöpferische Evolution

Herbert J. Klima

Zusammenfassung

Der Nobelpreisträger Ilya Prigogine war nicht nur ein bedeutender Naturwissenschaftler, sondern auch ein nach Ganzheit strebender Naturphilosoph, der nach Jahrhunderten der Trennung von Wissenschaft und Philosophie die beiden einst verbundenen, danach aber rivalisierenden Schwestern in der Intention des Mathematikers und Philosophen Alfred Whitehead wieder zu vereinen suchte.

Hier setzte Prigogine an und wies auf den eklatanten konzeptionellen Gegensatz zwischen Sein und Werden, zwischen den reversiblen Naturgesetzen der Dynamik vom ewigen Sein der Natur hin, wie sie die Newtonsche Mechanik, die Maxwellsche Elektrodynamik, die Einsteinsche Relativitätstheorie oder die Schrödinger-Diracsche Quantentheorie beherrschen, und den Gesetzen der irreversiblen Thermodynamik, die das unaufhaltsame Werden in der Natur ausdrücken.

Dabei handelt es sich beim Werden nicht nur um eine triste Entwicklung hin auf einen Endzustand, den man populär als den Wärmetod bezeichnet und für Gleichgewichtsprozesse durch den 2. Hauptsatz der Thermodynamik mit dem Entropiemaximum ausdrückt, sondern für Nichtgleichgewichtsprozesse im Falle von offenen Systemen um eine schöpferische Entwicklung in der Natur, deren kosmische Evolution zu immer komplexeren Systemen und schließlich bis zum Menschen führte, dessen Geist sich bemüht, Natur zu erkennen und sich mit ihr zu vereinen.

Erst diese Zusammenschau von Natur und Geist, von Naturwissenschaft und Naturphilosophie, vom ewigen Sein und unaufhaltsamen Werden, ist nach Prigogine imstande, das Ganze der Welt zu begreifen und zum Wohle einer weiteren schöpferischen Entwicklung der Menschheit beizutragen.

1. Das Erwachen der Naturphilosophie

Das Zeitalter der vorsokratischen Naturphilosophie warf im 6. und 5. Jahrhundert v. Chr. erstmals die Frage nach dem Urgrund oder Ursprung der Dinge auf. Eng damit verknüpft wurde die zentrale Frage nach Werden und Vergehen gestellt und zu beantworten versucht. Jene neue Phase in der geistigen Weiterentwicklung der Menschheit wurde von Karl Jaspers als „Achsenzeit“ bezeichnet. Der menschliche Geist begann damals unter allmählicher Loslösung von den überlieferten Religionen und unter teilweise lebhafter Kritik an der prinzipiellen Allmacht der Götter mit dem Mittel des selbständigen, vernunftmäßigen Denkens die Welt aus ihren natürlichen Ursachen zu erklären.

Im antiken Griechenland waren es die ionischen Naturphilosophen, die sich in Milet, dem Zentrum Ioniens, an der kleinasiatischen Küste gelegen, von der mythischen Tradition lösten. Sie stellten Fragen nach dem Anfang (archè), der Ursache aller Dinge, und versuchten diese Fragen mittels fundamentaler Annahmen, sogenannter Prinzipien, zu beantworten. Archè bei Thales von Milet (624 – 546 v. Chr.) war das Wasser; bei Anaximander (611 – 546 v. Chr.) das Grenzenlose (Apeiron); bei Anaximenes (586 – 525 v. Chr.) die Luft (pneuma); bei Pythagoras von Samos (580 – 500 v. Chr.) das Erkennen der Harmonie und Ordnung (Kosmos) der Welt mit Hilfe der Mathematik, Physik, Akustik, Astronomie und Musik; bei Parmenides von Elea (540 – 470 v. Chr.) das Sein (on) und das Seiende (onta); bei Heraklith

von Ephesos (533 – 470 v. Chr.) nicht das Sein, sondern das Werden, aber in einem bestimmten Rhythmus, der als Ordnung und Vernunft der Welt (logos) bezeichnet wurde¹.

In der Tradition der milesischen Philosophen Thales, Anaximander und Anaximenes dachten Leukipp und Demokrit aus Abdera, die als „arché“ unteilbare Atome und den leeren Raum annahmen. Epikur, der den Menschen die Furcht vor überirdischen Mächten zu nehmen versuchte, schloss eng an die Atomlehre des Demokrit an und empfahl zu diesem Zweck eine physikalische Welterkenntnis. Allerdings bezeichnete er als alleiniges Ziel der Menschen die Glückseligkeit, die nur in heiterer Beschaulichkeit und ausgeglichener Ruhe des Geistes zu finden sei.

2. Die Frage nach dem Sein

Der griechische Philosoph Parmenides wirkte um 500 v. Chr. und wird von vielen Gelehrten als bedeutendstes Mitglied der eleatischen Schule angesehen. Nach Parmenides ist die Welt der äußeren Erfahrung nur Schein und beruht auf menschlichem Irrtum. Parmenides behauptete weiter, dass die Wirklichkeit, das *wahre Sein*, durch die Sinne nicht erkannt werden könne, sondern bloß durch reines Denken. Die Theorie des Parmenides, wonach das Sein nicht aus dem Nichtsein entstehen könne und dass es weder geschaffen werde, noch verloren gehe, wurde, auf die Materie bezogen, von seinen Nachfolgern Empedokles und Demokrit übernommen und zur Grundlage ihrer materialistischen Auslegung des Universums gemacht.

Die Frage nach dem absoluten Sein bzw. dem Einen und dessen Unvergänglichkeit ist daher auch eine eminent naturphilosophische. Ihre Beantwortung ist Voraussetzung dafür, dass sich der Fragende danach dem Seienden zuwenden kann, worunter man seit jeher die Vielheit der Dinge in der Welt und ihre Vergänglichkeit bzw. ihr Werden versteht.

In der Physik ist die Frage der Unvergänglichkeit innig mit der Essenz von Erhaltungssätzen wie Energie, Impuls oder Drehimpuls verbunden. Erstmals mit Gottfried W. Leibniz, später aber mit Rowland Hamilton, insbesondere aber mit Emmy Noether sind Erhaltungssätze untrennbar mit Veränderungen bzw. Transformationen wie Verschiebungen in der Zeit, des Raumes und der Drehungen im Raum verbunden². In moderner Terminologie spricht man in diesem Zusammenhang von Symmetrietransformationen.

Die Zeit als Symbol der Veränderung, der Neuerung, ist aus parmenidischer Sicht eine Illusion. Albert Einstein vertrat dieses naturphilosophische Weltbild, nachdem er die Relativität bzw. die Abhängigkeit der Gleichzeitigkeit vom Bewegungszustand eines Beobachters in gleichförmig bewegten Bezugssystemen unter Bezug auf die empirisch nachgewiesene Konstanz der Lichtgeschwindigkeit logisch schlüssig dargestellt hatte. Einstein sah sich daher veranlasst, die Zeit als sekundären, aus primären Grundbegriffen abgeleiteten Begriff im Rahmen der Relativitätstheorie zu definieren: „Um dem Zeitbegriff überhaupt eine physikalische Bedeutung zu geben, bedarf es der Benutzung irgendwelcher Vorgänge, welche Relationen zwischen verschiedenen Orten herstellen können. Welche Art von Vorgängen man für eine solche Zeitdefinition wählt, ist an sich gleichgültig. Man wird aber mit Vorteil für die Theorie nur einen solchen Vorgang wählen, von dem wir etwas Sicheres wissen. Dies gilt für die Lichtausbreitung im leeren Raum in höherem Maße als von allen anderen in Betracht kommenden Vorgängen – dank der Forschungen von Maxwell und Lorentz“³. Karl Popper pflegte Albert Einstein daher als Parmenides zu bezeichnen.

Dem Prinzip der Reversibilität bzw. der Symmetrie gegenüber Zeitumkehr folgen die Newtonschen Gesetze der Mechanik, die Maxwellschen Gesetze der Elektrodynamik, die

¹ H. Diehls: Die Fragmente der Vorsokratiker, Rowohlt, Hamburg 1957

² K. Mainzer: Symmetrien in der Natur, de Gruyter, Berlin 1988

³ A. Einstein: Mein Weltbild, Grundzüge der Relativitätstheorie, Ullstein Taschenbuch, Frankfurt 1993

Einsteinschen Gesetze der Geometrodynamik, aber auch die fundamentalen Naturgesetze der Quantenphysik, wie die Schrödingergleichung und die Diracgleichung.

3. Über den Satz vom zureichendem Grunde

Aristoteles gilt als der Schöpfer der Metaphysik, die Fragen nach dem Allgemeinen und dem Einzelnen, nach der Form (*morphe*) und dem Stoff (*hyle*) sowie nach den letzten Gründen bzw. Ursachen des Seienden zu beantworten sucht. Nach Aristoteles gibt es vier Ursachen bzw. letzte Gründe (*causae*): die finale Ursache (Zweck), die formale Ursache (Form), die materiale Ursache (Stoff) und die wirkende Ursache (Kausalität)⁴.

Gottfried W. Leibniz machte den Satz vom zureichenden Grunde zum Ausgangspunkt seiner Philosophie (*nihil fit sine causa sufficiente*). Als der Schöpfer des Wirkungsprinzips war er nicht nur Vorbild für Planck und dessen Schöpfung des Wirkungsquantums gewesen, sondern auch für Einsteins Überzeugung von der durchgängigen Rationalität alles Seienden sowie dessen Relativierung von Raum und Zeit. Zusammen mit dem Prinzip der Identität bzw. dem Satz vom Widerspruch (*tertium non datur*) beruht nach Leibniz aller Vernunftgebrauch auf dem Satz vom Grunde. Infolgedessen gibt es keine grundlosen Wahrheiten.

Leibniz unterschied zwischen dennotwendigen Wahrheiten von identischen Sätzen (logische, metaphysische, geometrische), in denen das Prädikat schon im Subjekt enthalten ist (*praedicatum inest subjecto*), und kontingenten Wahrheiten, die er auch hypothetische oder Tatsachenwahrheiten nennt. Diese gelten nur in dieser konkreten Welt, nicht aber in jeder möglichen Welt. Naturgesetze stehen nach Leibniz zwischen notwendigen und hypothetischen Wahrheiten. Für Naturgesetze gilt das Prinzip der Angemessenheit, wonach aus der Fülle der Möglichkeiten in der Natur jene Möglichkeit gewählt wird, die die tatsächliche Welt im physikalischen Sinn zur besten aller Welten macht. In der Physik gelten Wirkursachen, in der Metaphysik Finalursachen. Beide Ursachen durchdringen einander, stören einander aber nicht. Dennoch lässt uns Leibniz wissen: „Es ist erstaunlich, dass man durch die ausschließliche Betrachtung der Wirkursachen oder der Materie den Grund für die in unserer Zeit entdeckten Bewegungsgesetze, von denen ich selbst einen Teil gefunden habe, nicht angeben kann. Ich habe nämlich erkannt, dass man auf die Zweckursachen zurückgehen muss, und dass diese Gesetze nicht vom Prinzip der Notwendigkeit abhängen, wie die logischen, arithmetischen und geometrischen Wahrheiten, sondern vom Prinzip der Angemessenheit, das heißt von einer durch Weisheit bestimmten Wahl (des Besten).“⁵

Wie man in der theoretischen Physik zeigen kann, folgen die kausalen Naturgesetze der Mechanik, der Elektrodynamik und der Geometrodynamik tatsächlich dem Leibniz-Hamiltonschen Prinzip der kleinsten Wirkung⁶. Das Merkwürdige und eigentlich Paradoxe daran ist, dass das Wirkungsprinzip ein Finalprinzip ist, das auf ein Ziel gerichtet ist, nämlich auf die Wahl eines Extremums, und das damit einen Pfeil der Zeit enthält, während die daraus abgeleiteten kausalen Naturgesetze der Mechanik, Elektrodynamik und Geometrodynamik reversibel bzw. zeitlich symmetrisch sind.

Ilya Prigogine war damit nicht einverstanden, denn er erblickte in Leibniz einen der ganz großen Vertreter des Rationalismus, für den die Natur und ihre Gesetze durchgängig durch den Satz vom zureichenden Grunde, dem Prinzip der Identität und dem Prinzip der Angemessenheit geprägt waren. Dieser Leibnizsche Rationalismus ist aber nach Prigogine nicht imstande, die triste Irreversibilität des 2. Hauptsatzes der Thermodynamik, aber schon

⁴ Aristoteles: Metaphysik, Reclam, Stuttgart 1970

⁵ G. W. Leibniz: Über den ersten Ursprung der Dinge; in Fünf Schriften zur Metaphysik, Reclam Nr. 1898, Stuttgart 1966, pg. 41

⁶ H. Klima: Die Evolution des Wirkungsprinzips in der Physik, in Versuche und Widerlegungen - Offene Probleme im Werk Karl Poppers (Eds. K. Müller, F. Stadler, F. Wallner), Geyer Edition, Wien 1986

gar nicht, die schöpferische Entwicklung des Kosmos und dessen zunehmende Komplexität hin bis zum menschlichen Bewusstsein zu erklären. Gewisse Ansätze dazu habe es aber schon in den berühmten Briefwechsel zwischen Leibniz und Clarke gegeben⁷.

4. Die Frage nach dem Werden

Während Parmenides hinter all der Vergänglichkeit der Dinge das ewige Sein setzte, wies der Epheser Heraklith nachdrücklich auf das ewige Werden, das Fließen in der Natur hin: *panta rhei - alles fließt*. Man kann nicht zweimal in denselben Fluss steigen. Dieser Wandel, den Heraklith ansprach, ist aber nicht eine zeitliche Veränderung, wie etwa eine ideale, immer wiederkehrenden Bahn der Erde um die Sonne oder eine umkehrbaren Bewegung eines idealen, reibungslosen Pendels, sondern sie ist irreversibel, unumkehrbar, neuartig.

Während Platon das parmendische Sein favorisierte, ohne jedoch das Werden zu unterschätzen, bevorzugte sein Schüler Aristoteles eher den heraklithischen Wandel und suchte nach dessen Ursachen. Dieser Wandel ist nach Aristoteles aber nicht willkürlich. Die Beobachtung der sich stets wandelnden Natur lässt überall eine beeindruckende Zweckmäßigkeit erkennen. Diese kann nicht vom Zufall herrühren, sondern kann nur von ihren Zweckursachen her bestimmt werden. Aristoteles führte damit die teleologische Naturbetrachtung in die Physik ein, die später Heron von Alexandrien und Pierre Fermat auf die Bewegung eines Lichtstrahls, danach von Gottfried W. Leibniz, Maurice de Maupertuis und Rowland Hamilton auf beliebige mechanische Bewegungen anwendeten.

Lebewesen sind nach Aristoteles dadurch ausgezeichnet, dass sie sich selber bewegen können. Wie in seiner Metaphysik dargelegt, muss dort, wo Bewegung ist, sowohl ein Bewegendes als auch ein Bewegtes vorhanden sein. Das Bewegende nennt Aristoteles Seele bzw. Entelechie, die demnach die Formursache darstellt, das Bewegte bezeichnet er als den Leib, der der Stoffursache entspricht. Die Entelechie ist daher der Zweck des Leibes, der Leib das Organon bzw. Werkzeug der Seele. Organ und Organismus wurden so zu wesentlichen Begriffen in der Biologie. Aristoteles ordnete die Organismen aufsteigend nach Pflanzen, Tiere und Menschen mit ernährender, empfindender und denkender Seele.

Diese organozentristische Sichtweise kommt insbesondere in der Morphogenese zum Vorschein. Darüber war sich auch Prigogine im Klaren, wenn er resümiert: „Es ist eine eindrucksvolle Erfahrung, besonders für einen Nichtbiologen, einen Film zu sehen, der die Entwicklung beispielsweise des Hühnerembryos beschreibt. Man erkennt die fortschreitende Organisation eines biologischen Raumes, in dem jedes Ereignis sich zu einem Zeitpunkt in einem räumlichen Gebiet so vollzieht, dass die Koordination des Prozesses als ein Ganzes möglich wird. Dieser biologische Raum ist ein funktionaler, nicht ein geometrischer Raum. Der übliche geometrische Raum, der euklidische Raum, ist invariant gegen Translationen und Rotationen. Beim biologischen Raum ist dies nicht der Fall. In diesem Raum sind die Ereignisse in Raum und Zeit lokalisierte Prozesse und nicht bloße Trajektorien. Wir kommen der aristotelischen Sicht des Kosmos ganz nahe. Wir wissen, dass Aristoteles der Welt der göttlichen Wege die Welt der sublunaren Natur gegenüberstellte, deren Beschreibung offensichtlich von biologischen Beobachtungen beeinflusst war.“ Prigogine zitiert dann Aristoteles: „Wie soll nicht das Lebende uns mit Entzücken erfüllen; und das umso mehr, wenn wir im Geiste der Philosophie nach Ursachen suchen und das Vorliegen eines Planes erkennen. Dann werden das Ziel der Natur und ihre tief verborgenen Gesetze, die in ihrem mannigfaltigen Wirken sämtliche danach streben, diese oder jene Form des Schönen zu verwirklichen, allerorten enthüllt.“⁸

⁷ I. Prigogine: Das Paradox der Zeit, Piper-Verlag, München 1993, pg. 57 ff

⁸ I. Prigogine: Vom Sein zum Werden, Piper-Verlag, München 1979, pg. 14 ff.

Prigogine kommentierte diese biologistische Auffassung des Aristoteles, meinte aber schließlich: „... wir beginnen jedoch, dank der modernen Theorie der Verzweigungen (Bifurkationen) und Instabilitäten zu erkennen, dass die beiden Begriffe der geometrischen und der organisierten, funktionalen Welt nicht unvereinbar sind. Das ist ein Fortschritt, der, wie ich glaube, von bleibendem Einfluss sein wird.“

In einem Zeitschriftenaufsatz formulierte der bedeutendste Philosoph der Romantik Friedrich W. Schelling die „Ideen zu einer Philosophie der Natur“ eindrucksvoll modern und ganz im Sinne Prigogines Selbstorganisation dissipativer Systeme: „Ist der menschliche Geist eine sich selbst organisierende Natur, die sich von innen heraus gestaltet, so gibt es ein solches nicht nur im Menschen, sondern nicht minder in der ganzen Natur. ... Vom Moosgeflecht an, an dem noch kaum die Spur der Organisation sichtbar ist, bis zur veredelten Gestalt, die die Fesseln der Materie abgestreift zu haben scheint, herrscht ein und derselbe Trieb, der nach einem und demselben Ideal von Zweckmäßigkeit zu arbeiten, ins Unendliche fort ein und dasselbe Urbild, die reine Form unseres Geistes, auszudrücken scheint.“

Später kommt bei Schelling jedoch ein gewisser dunkler, irrationaler Aspekt in seine Philosophie, die dem unvorhersehbaren, schöpferischen Werden in der Natur und im Geiste nachgeht. Dazu bedürfe es der verdrängten Erfahrung, dass die Welt sich nicht verändert wie ein in einem ruhigen Fahrwasser dahingleitendes Schiff, ein ruhiges Werden also, sondern dass es für die Welt wie für den Menschen neben Phasen des ruhigen Gleitens auch gefährliche Klippen, Tod, Verderben gibt. In den Mächten der Triebe des Organischen offenbart sich anscheinend eine eminente Dynamik nach Werden und Wollen. Idealismus sei zwar die Seele der Philosophie, der Realismus aber ihr Leib; beide zusammen würden erst ein lebendiges Ganzes ausmachen: „Das Reale, das nichts anderes als blinder Drang ist, bedarf des Idealen als maßgebendes, kontrahierendes Prinzip. Absolutes Sein als Ganzes lebt aus Drang und Vernunft, aus Wille und Geist, aus irratio und ratio, aus dynamis und ordo. Sein ist daher nicht harmlos, sondern voller Gefahren.“

Auf Prigogine, der eine Wiedervereinigung aus Naturphilosophie und Naturwissenschaft anstrebte, übten aus naturphilosophischer Sicht sowohl Henri Bergson als auch Alfred Whitehead einen nicht zu übersehenden Einfluss aus. Aus der Perspektive der Naturwissenschaft waren es vor allem der Biologe Charles Darwin, die Physiker Rudolf Clausius, Ludwig Boltzmann und Max Planck, insbesondere aber der Mathematiker und Physiker Henri Poincaré, der Thermodynamiker de Donder sowie diverse Protagonisten der nichtlinearen Dynamik und Chaostheorie wie etwa Edward Lorenz.

Henri Bergson, den Prigogine sehr schätzte, behauptete, der physikalische Raum sei zwar homogen, die Zeit aber nicht. Man könne beliebig von einem Raumpunkt zum anderen übergehen, von einem Zeitpunkt zum anderen aber nicht: „Der Raum ist, die Zeit wird. Zeit ist Werden.“ Jeder Moment ist etwas Neues, Einmaliges, Unwiederholbares, Schöpferisches. Dem Raum ist nach Bergson der Verstand zugeordnet, der Wiederholbares praktiziert, der Zeit die Intuition, die ständig Unwiederholbares schöpft. Wissenschaftliche Rationalität sei deshalb unfähig, die Dauer der schöpferischen Entwicklung zu begreifen, und führe die Zeit auf die Abfolge von regelmäßigen, deterministischen Elementen zurück. Aus diesem Grunde behauptete Bergson: „Zeit ist Zeugung, oder sie ist schlechterdings nichts.“⁹

Was die Materie anlangt, der unser Verstand nach Kant deren mechanische Gesetze vorschreibt, so könne nach Bergson aus ihr die Entfaltung des Lebens nicht hervorgegangen sein. Die Wissenschaft - als Ganzes betrachtet - sei das Produkt einer praktischen und betriebsamen Intelligenz, deren Ziel es sei, die Materie zu beherrschen. Ihr Bedürfnis bestehe darin, die Welt auszubeuten, Objekte zu manipulieren und Voraussagen zu machen. Gegen die Trägheit der Materie strebe das Leben jedoch zu immer höheren und gewagteren Formen. Dem Leben wohne daher eine Lebenskraft, eine *elan vital*, inne. Für Lebensvorgänge gelten

⁹ H. Bergson: Denken und schöpferische Entwicklung, Zürich 1967, pg. 333

zwar die physikalischen und chemischen Kräfte im Kleinen, jedoch nicht für das Ganze. Prigogine, der Bergson sehr schätzte, benutzte dafür den Vergleich mit einer Kathedrale, deren Ziegelsteine zwar den chemischen und physikalischen Kräften unterliegen, die jedoch nur durch die schöpferische Kraft, die „elan vital“ der Erbauer zu begreifen sei. Diese Lebenskraft sei überall, wo Leben ist, jedoch nur der Mensch habe Intuition, mit der das Leben über sich nachdenken und sich selbst erkennen kann.

Alfred North Whitehead ist Vertreter einer neuen Metaphysik, die vor allem auf Erfahrung gegründet sein will, jedoch nicht nur auf äußerer Erfahrung über Sinnesempfindungen, sondern auch auf einer intellektuellen Erfahrung. Für die neue Metaphysik zähle nicht die Intuition wie bei den Lebensphilosophen, sondern die Vernunft, die Ratio. Sie versuche, das Sein unmittelbar zu erfassen, sei daher vor allem Ontologie. Ihre Intention sei auf das Ganze gerichtet, sie möchte allumfassend sein. Sie möchte aber auch tiefgründig denken und das Ganze des Seins mit letzten Prinzipien erfassen.

Für Whitehead ist das Sein durch sogenannte „events“ bzw. Raum-Zeit-Ereignisse gegeben. Diese Events bzw. metaphysischen Wesenheiten entsprechen etwa den Leibnizschen Monaden, d.h. sie repräsentieren das gesamte Sein. Sie sind untereinander aber nicht durch physische Wechselwirkung verbunden, sondern metaphysisch durch ein „Gefühl“, das bewusst oder unbewusst ist. Damit wird die ganze gegenwärtige Welt in jedem Event zugleich gegenwärtig und wirksam. Whiteheads Events sind aber nicht statisch, sondern dynamisch zu denken. Sie vergehen in jeden Moment und entstehen als neue Wesenheiten, eigentlich wandeln sich aber nur um und wirken daher in anderen Events weiter. Alle Dinge wie Anorganisches oder Lebewesen sind aus diesen sich stets wandelnden Events nach bestimmten Ordnungen zusammengesetzt, entstehen daher mit diesen und vergehen auch. Nach Whitehead unterliegt das Sein nicht einer willkürlichen Dynamik, sondern logischen Gesetzen, ästhetischer Harmonie und einer für das Andere und damit das Ganze verantwortungsvollen Ethik.

Prigogine bemerkte mit Genugtuung, dass Whitehead deutlicher als jeder andere begriffen habe, wonach das schöpferische Werden in der Natur als letzte irreduzible Tatsache undenkbar wäre, würden die Grundelemente als beständige individuelle Entitäten definiert werden. Würde man andererseits die Beständigkeit als Illusion darstellen und das Sein negieren, würde man ebenfalls in eine Falle tappen. Deshalb sollte es – wie Whitehead es forderte – Aufgabe der Philosophie sein, Beständigkeit und Werden miteinander zu versöhnen. Dies könne erreicht werden, wenn man die Dinge als Prozesse auffasst und das Werden als Bildung von individuellen Entitäten, die geboren werden und sterben. Whitehead verdeutlichte damit den Zusammenhang zwischen einer Philosophie der Beziehungen und einer Philosophie der Neuerungen, des Werdens.

5. Das Paradoxon von Sein und Werden

5.1. Das Sein und seine Gesetze in der Physik

In den Naturwissenschaften, insbesondere in der Physik, wurde anfangs die Frage nach dem Wesen des Werdens, der Veränderung, mit dem Wesen des Seins, der zeitlich unveränderlichen Naturgesetze, zu beantworten versucht.

Eine naheliegende Frage der Physiker am Beginn der Neuzeit war daher, wie lange eine schwere Masse, etwa ein Apfel brauche, um auf den Boden anzukommen. Die ersten berühmten Versuche, die Fallzeiten für verschiedene Körper zu bestimmen, wurden von Galileo Galilei im Jahre 1590 der Überlieferung nach am schiefen Turm von Pisa ausgeführt. Seine Vermutung, wonach alle Körper, unabhängig von ihrer Masse, gleich schnell fallen,

wurde später glänzend bestätigt und war eine wichtige Voraussetzung für Einsteins theoretische Begründung der Gleichheit von schwerer und träger Masse. Was die Fallzeiten anlangt, so konnte Galilei seine Vermutung, wonach die von den Massen durchfallenen Wege proportional zum Quadrat der dafür benötigten Zeiten seien, durch Messungen an fallenden Körpern bestätigen; dies bedeutete aber letztlich, dass die Beschleunigung beliebig schwerer Körper im Schwerfeld der Erde konstant ist. Damit gilt Galilei zu Recht als Begründer der modernen Physik, in der Empirie bzw. Messungen und Theorie bzw. Vermutungen, mathematisch formuliert, einander ergänzen müssen, um den Naturgesetzen auf die Spur zu kommen¹⁰.

Der Grazer Mathematiker und Astronom Johannes Kepler ging methodisch ähnlich wie Galilei vor. Er hat aus den genauen Beobachtungen der Planetenbewegungen des dänischen Astronomen Tycho de Brahe das kopernikanische Weltbild, wonach sich die Planeten um die Sonne drehen, nicht nur empirisch bestätigt, sondern sogar die korrekten Planetenbewegungen in drei Gesetzen mathematisch formuliert. Die eigentliche Motivation und Sehnsucht von Kepler als Anhänger des Weltbildes der Pythagoräer aber war, auch bei der Planetenbewegung harmonikale Zahlenverhältnisse vorzufinden und dies in Naturgesetzen mathematisch auszudrücken.

Was Kepler in den beiden ersten seiner Gesetze im Jahre 1609 aber fand, waren bloß elliptische Bahnen der Planeten um die Sonne und den Flächensatz, wonach der Radiusvektor von der Sonne zum Planeten in gleichen Zeiten gleiche Flächen überstreicht, was letztlich eine Folge des allgemeinen Satzes der Drehimpulserhaltung ist. Das waren zwar keine harmonikalen Proportionen wie Oktaven, Quarten oder Quinten, aber immerhin genug, um für immer in die Geistesgeschichte der Menschheit einzugehen. Kepler gab aber nicht auf, nach harmonikalen Zahlenverhältnissen zu suchen, und im Jahre 1619 fand er schließlich aus dem Vergleich der Bahnen verschiedener Planeten, dass der Quotient aus dem Quadrat der Umlaufzeit und der dritten Potenz der Halbachse der Ellipsenbahn für alle Planeten unveränderlich, eine Konstante ist. Keplers Glaube an die „Harmonices mundi“¹¹ hatte ihn nicht enttäuscht.

Kepler hatte für seine epochalen Entdeckungen auch einen großen Verehrer gefunden, nämlich Galileo Galilei, der sich zum Studium der Planetenbewegung ein eigenes Fernrohr baute und damit den gestirnten Himmel beobachtete. Dabei fand er nicht nur die Phasen der Venus als Konsequenz der Drehung um die Sonne, sondern auch die Jupitermonde. Die im Dienste der Kirche stehenden Philosophen weigerten sich aber angeblich, durch sein Fernrohr zu schauen, worauf Galilei in einem Brief an Kepler über die Dummheit dieses „Gesindels“ heftig herzog.

Die Keplerschen Gesetze der Planetenbewegung und angeblich ein vom Baum gefallener Apfel veranlassten Isaac Newton über die Kraft nachzudenken, welche zwischen der Sonne und den Planeten sowie zwischen Erde und Mond wirkt und deren elliptische Bahnen verursacht. Dazu war es unbedingt erforderlich, den Begriff der Kraft ganz allgemein zu fassen und mathematisch zu formulieren, was 1687 in Newtons „Principia mathematica philosophae naturalis“ geschah¹². Damit war Newton imstande, aus den Keplerschen Gesetzen der Planetenbewegung und seinen Prinzipien die Schwer- bzw. Gravitationskraft, mit der zwei Massen einander anziehen, zu bestimmen.

Das Newtonsche Gesetz und Newtons Gravitationsgesetz schienen wahrlich göttlicher Herkunft und ewig zu sein. Kehrt man nämlich im Newtonschen Gesetz die Zeit um, so bleibt es unverändert! Ja, im Gravitationsgesetz scheint die Zeit überhaupt nicht auf! Die Entdeckung ewiger, zeitunabhängiger Gesetze war für viele ein göttlicher Halt in der

¹⁰ G. Galileo: *Discorsi delle due nuove scienze*, 1638

¹¹ Ioannis Kepleri *Harmonices Mundi*, Lincii Austriae, anno MDCXIX

¹² I. Newton: „*Principia mathematica philosophae naturalis*“ 1687; „*Mathematische Grundlagen der Naturphilosophie*“, Philosophische Bibliothek, F. Meiner, Hamburg 1988

Vergänglichkeit des Daseins. Daher konnten Leibniz und Newton, vertreten durch den Theologen Clarke, den berühmt gewordenen Briefwechsel führen, in dem grundlegende, ineinander greifende Fragen über Mathematik, Naturphilosophie und Theologie gestellt und heftig diskutiert wurden¹³.

Etwa zur gleichen Zeit wie Newton hatten nämlich Christian Huygens und Gottfried Wilhelm Leibniz einen anderen Zugang zu den Prinzipien der Naturphilosophie, wie die Physik damals genannt wurde, gefunden. Huygens gelang es, die Ausbreitung des Lichtes durch die Überlagerung von Elementarwellen darzustellen. Dieses sogenannte Huygenssche Prinzip ist nicht nur bis heute in der Optik gültig, sondern es gewann später bei Hamiltons optisch-mechanischer Analogie besondere Bedeutung.

Gottfried W. Leibniz hatte das Prinzip der kleinsten Wirkung im Jahre 1686 gefunden und dies dem Mathematiker Hermann in einem Brief mitgeteilt¹⁴. Maurice de Maupertuis, der Präsident der Akademie der Wissenschaften in Berlin, kannte das Leibnizsche Schreiben über das „Prinzip der kleinsten Aktion“ an den Mathematiker Hermann nicht. Er entwickelte unabhängig – inspiriert durch das Fermatsche Prinzip der kürzesten Zeit und den optischen Ansatz des Descartes – das Prinzip der kleinsten Wirkung als minimiertes Integral über das Produkt aus Weg und Impuls für beliebige mechanische Bewegungen¹⁵. Maupertuis empfahl sein Prinzip damit, dass es der Weisheit des Schöpfers am besten entspreche. Wie man weiß, lagen auch Leibniz solche Argumente im Sinn.

Vollendet wurde der Rationalismus, die Natur durch Extremalprinzipien zu erfassen, durch den schottischen Astronomen und Mathematiker William Rowan Hamilton, der versuchte, eine Optik aufzustellen, die so schön und elegant wie die Lagrangesche Mechanik sein sollte. Was Hamilton eigentlich suchte, war ein mechanisches Analogon zum Fermat-Prinzip der Optik. Dieses Analogon fand er mit dem später nach ihm benannte Hamilton-Prinzip der kleinsten Wirkung, wobei er die Wirkung als Produkt aus der Lagrange-Funktion, d.h. aus der Differenz zwischen kinetischer und potentieller Energie, und der Zeit betrachtete¹⁶. Aus diesem Hamilton-Prinzip erhielt er gleichsam als Geschenk die bekannten Lagrange-Gleichungen der Mechanik.

Die angestrebte Analogie zwischen Optik und Mechanik führte Hamilton jedoch viel weiter: in der Optik wird die Wellenausbreitung durch das Huygenssche Prinzip und die Ausbreitung der Phasen der Wellen durch die Eikonalgleichung beschrieben. Dieser optischen Phase entsprach nun die mechanische Wirkung und der Eikonalgleichung eine mechanische Wellengleichung, die sogenannte Hamilton-Jacobi-Gleichung, welche die Ausbreitung der Wirkung als Phase einer Welle beschrieb. Der Bahn eines Lichtstrahl entsprach die Bahn eines Massenpunktes, während der Phase bzw. dem Eikonal einer Lichtwelle als Einhüllende der Huygensschen Elementarwellen die Phase bzw. die Wirkung als Einhüllende von mechanischen Elementarwellen zukam.

Diese Hamilton-Jacobi-Gleichung benutzte Henri Poincare ausgiebig in seinem Arbeiten zur Himmelmechanik¹⁷. Sie ist aus der Sicht Prigogines das eigentliche Bindeglied zwischen dem Sein und dem Werden in der Natur.

Damit war nicht nur der Rationalismus und der Determinismus der Mechanik, sondern der gesamten klassischen Physik vollendet. Hamilton konnte nicht nur zeigen, dass die Newtonschen Gleichungen eine Folge seiner analytischen Mechanik war, sondern Mechanik und Optik flossen gemeinsam aus dem übergeordneten Prinzip der kleinsten Wirkung hervor. Als schließlich Gustav Mie die Maxwell-Gleichungen der Elektrodynamik aus einem

¹³ Der Leibniz-Clark Briefwechsel (Ed. V. Schüller), Akademie Verlag, Berlin 1991

¹⁴ H. Klima: Die Evolution des Wirkungsbegriffes in der Physik, in: Offene Probleme im Werk Karl Poppers, Geyer-Edition, Wien 1986

¹⁵ P.L.M. de Maupertuis: Histoire de l'Acad. de Sciences de Berlin, 1746

¹⁶ W.R. Hamilton: Philosoph. Transacta, T.I (95), T.II (1834) pg. 247

¹⁷ H. Poincare: Les methodes de la mecanique celeste, Paris 1899

Wirkungsprinzip herleitete, war der Wirkungsbegriff zum Zentralbegriff der Physik avanciert. Es ist daher nicht überraschend, dass die Mathematiker bzw. mathematischen Physiker Hermann Weyl und David Hilbert versuchten, Albert Einsteins Feldtheorie der Gravitation aus einem Wirkungsprinzip abzuleiten, was ihnen auch gelang.

Der Ablauf in der Natur schien vollkommen geregelt zu sein, einem idealen Uhrwerk gleich, in dem die einzelnen Rädchen nach den rationalen und deterministischen, auf dem Wirkungsbegriff und dem Wirkungsprinzip beruhenden Gesetzen der Mechanik, Elektrodynamik und Geometrodynamik, wie Archibald Wheeler die Einsteinsche Feldtheorie der Gravitation zu nennen pflegte, ineinander griffen. Doch schon längst hatten sich merkwürdige, für manche sogar dunkle Wolken am Himmel der deterministischen und reversiblen Weltbilder der Physik gezeigt.

5.2. Das Werden und seine Gesetze in der Physik

Eine dieser Merkwürdigkeiten hängt eng mit dem Begriff und den Gesetzen der Wärme zusammen, eine andere mit dem Begriff des mathematischen Kontinuums, das seit den Anfängen der Infinitesimalrechnung in der Mathematik und wegen der Mathematisierung der Physik auch für Naturerscheinungen vorausgesetzt wurde. Das Gebiet der Physik, das sich mit der Wärmelehre befasst, ist die Thermodynamik

Ähnlich wie in der Mechanik die Masse oder in der Elektrodynamik die elektrische Ladung erst die raum-zeitliche Objektconstitution eines Systems ermöglicht, ist es in der Thermodynamik die Wärmemenge eines Systems, die auf den Wärmezustand eines Systems schließen lässt. Makroskopisch lässt sich der Wärmezustand eines Systems durch seine Temperatur bestimmen, die mit Thermometern gemessen wird. Eine Änderung des Wärmezustandes ist nur möglich, wenn dem System Energie in Form von Arbeit oder Wärme zugeführt bzw. entnommen werden kann. Zwei unterschiedliche Wärmezustände zeigen aber die merkwürdige Tendenz, sich durch einen Wärmefluss vom wärmeren auf den kälteren Zustand auszugleichen.

Mit diesem Phänomen der Wärmeleitung befasste sich vor allem Jean Baptiste Fourier, der dem Kreis der theoretischen Physiker der Ecole Polytechnique in Paris angehörte. Fourier war der Meinung, dass sich die Beschäftigung mit thermischen Phänomenen grundsätzlich von der Mechanik unterscheidet: „Man wird aber aus dem Bisherigen ersehen, dass es eine sehr ausgedehnte Klasse von Erscheinungen gibt, die nicht mechanischen Kräften ihr Entstehen verdanken, sondern die aus Ansammlung von Wärme entstehen. Die Theorie derselben wird also nicht mit der Dynamik zusammenfallen, sie wird vielmehr ihre eigentümlichen Grundlagen haben. Doch sind ihre Methoden denen aller anderen exakten Wissenschaften ähnlich.“¹⁸

Fourier fand 1822 die Gesetze der Wärmeleitung, die vollkommen unabhängig von den Newtonschen Gleichungen der Mechanik sind¹⁹. Entscheidend für Fouriers Theorie der Wärmeleitung war, dass dabei die Wärmemenge nicht verbraucht wird, sondern von einem heißen zu einem kalten Körper übergeht. Gay-Lussac hatte dies schon 1807 in einem Überströmungsversuch demonstriert.

Wenngleich schon Heraklith und seine geistigen Nachfolger das Werden in der Natur als grundlegend erkannten, so trat mit Fourier und seinem wissenschaftlichen Weltbild das Paradoxon zwischen dem ewigen Sein, wie es die Newtonsche und vor allem die Hamiltonsche Mechanik mit ihrer reversiblen, ungerichteten Zeit ausdrückte, und dem

¹⁸ zitiert in: S. F. Mason: Geschichte der Naturwissenschaft, Alfred Kröner Verlag, Stuttgart 1974

¹⁹ J. B. Fourier: Theorie de la chaleur, Paris 1822

permanenten Werden, wie es die Gesetze der Wärmeleitung mit ihrer irreversiblen, gerichteten Zeit forderten, voll ins Bewusstsein der damaligen geistigen Elite.

Sadi Carnot war Ingenieur an der Ecole Polytechnique in Paris und stellte 1824 die Theorie einer idealen Wärmekraftmaschine auf, die in Form eines Kreisprozesses zwischen zwei Wärmebädern mit unterschiedlichen Temperaturen arbeitet²⁰. Der Grundgedanke war, dass die Wärmemenge in einer Wärmekraftmaschine nicht verbraucht wird, sondern ganz in Übereinstimmung mit Fouriers Experimenten vom heißen zum kalten Körper übergeht und dabei Arbeit verrichten kann. Carnot konnte zeigen, dass der Wirkungsgrad einer idealen Wärmekraftmaschine immer gleich dem Verhältnis aus der Temperaturdifferenz und der höheren Temperatur des Betriebsstoffes ist und daher stets kleiner als eins sein wird. Der Wirkungsgrad einer realen Wärmekraftmaschine, in der es immer Reibungsverluste gibt, wird daher immer kleiner als der einer idealen Maschine sein.

Mit dieser Arbeit hat Carnot nicht nur nachweislich James Watt zur Verbesserung der Dampfmaschine angeregt, sondern schon die Energieerhaltung des ersten Hauptsatzes der Thermodynamik in gewisser Weise vorweggenommen. Auf alle Fälle aber trat in seinen Überlegung ein physikalische Größe auf, die bei seinem idealen Kreisprozess mit reversibler Führung eine Erhaltungsgröße war, bei realen Prozessen aber immer nur zunahm: es war dies der Quotient aus der dem System zugeführten Wärme und der danach erreichten Temperatur. Dieser Quotient sollte sich zur wichtigsten physikalischen Größen in der Physik des Werdens entwickeln: zur Entropie.

Der Begriff „Entropie“ stammt aus dem Griechischen und bedeutet Verwandlung. Er wurde von dem deutschen Physiker Rudolf Clausius im Jahre 1862 als „Verwandlungswert“ der Wärme eingeführt, der die Eigenschaften eines Systems ausdrückte, sich auf den Zustand des thermodynamischen Gleichgewichtes hinzubewegen und sich dort zu verwandeln²¹. Clausius beschrieb die Entropie folgendermaßen: „Damit ist eine recht abstrakte Größe eingeführt, für die bei reversiblen Vorgängen ein Erhaltungssatz gilt und die bei irreversiblen Vorgängen vermehrt wird.“ Danach formulierte Clausius den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik, der die Irreversibilität in der Natur ausdrückt: „Es gibt keine thermodynamische Zustandsänderung, deren einzige Wirkung darin besteht, dass einem kälteren Wärmespeicher eine Wärmemenge entzogen und an einem wärmeren abgegeben wird.“ Wärme fließt von einem wärmeren zu einem kälteren System, aber nicht umgekehrt. Dieser Wärmefluss von warm nach kalt ist irreversibel und mit einer Zunahme an Entropie verbunden.

5.3. Das Paradoxon von Sein und Werden in der Physik

Es ist die Tragik von Ludwig Boltzmann, dem genialen österreichischen Physiker, Mathematiker und Philosophen, dass er versuchte, die Irreversibilität mit der Reversibilität zu begründen und die Gesetze des Werdens der Thermodynamik, insbesondere den 2. Hauptsatz, auf den Gesetzen des Seins der Mechanik aufzubauen. Dies wurde ihm insbesondere von dem französischen Mathematiker, Physiker und Philosophen Henri Poincare zum Vorwurf gemacht, der abriet, Boltzmanns Schriften zu lesen, da aus den dort verwendeten Voraussetzungen, nämlich der reversiblen Gesetze der Mechanik, nicht Folgerungen gezogen werden könnten, die zu den irreversiblen Gesetzen der Thermodynamik führen.

Boltzmanns Weltbild orientierte sich an der Evolution, am Werden und Vergehen der physischen Dinge. Sein großes Vorbild war der englische Evolutionsbiologe Charles Darwin, dessen Anliegen es war, die Entstehung der Arten in Form einer wissenschaftlichen Evolutionstheorie darzustellen. Nach Darwins Theorie entwickeln sich neue Arten durch

²⁰ S. Carnot: Sur la puissance motrice du feu, Paris 1824

²¹ G. Kluge, G. Neugebauer, Grundlagen der Thermodynamik, Spektrum Verlag, Heidelberg 1994

zufällige Mutationen mit anschließender Selektion, wobei die angepassten Arten durch rasche Vermehrung in einer geänderten Umwelt größere Überlebenschancen haben als weniger angepasste Arten.

Um das Werden und die Entwicklung in der Natur zu begreifen, insbesondere die Irreversibilität und die Entropiezunahme im 2. Hauptsatz der Thermodynamik, betrachtete Boltzmann analog zu Darwins Mutationen zufällige Ereignisse und bediente sich dabei als hervorragender Mathematiker der Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik. Boltzmann modellierte dazu thermodynamische Systeme, die ja aus vielen Teilchen bestehen, und spannte dazu den begrifflich fundamentalen Wirkungs- bzw. Phasenraum nach Art der Hamiltonschen Physik auf. Im Grunde wollte er damit jedoch die Thermodynamik auf die Dynamik zurückführen. Damit machte er sich auf die Suche nach jener Verteilung der Teilchen, die die Entropiezunahme erklären könnten.

Man kann nach Boltzmann annehmen, dass es von allen möglichen einen bestimmten Systemzustand gibt, der am häufigsten realisiert wird. Diesen wahrscheinlichsten Zustand bzw. diese Verteilung identifizierte Boltzmann mit dem thermodynamischen Gleichgewicht, zu dem ein thermodynamisches System hinstrebt und für das seine Entropie ein Maximum wird²². Daher setzte Boltzmann die Entropie S proportional zum Logarithmus der Anzahl w der Möglichkeiten für diesen wahrscheinlichsten Zustand: $S = k \cdot \ln w$. Diese mathematische Beziehung, die Albert Einstein als „Boltzmann Prinzip“ bezeichnet hat, findet man eingemeißelt auf dem Grabstein Boltzmanns in seinem Ehrengrab der Stadt Wien am Wiener Zentralfriedhof.

Boltzmann hat seine Verteilung 1872 auf eine noch andere Weise hergeleitet, und zwar aus einer zeitlichen Ableitung einer Geschwindigkeitsverteilung, die sich aus einem Flussterm und einem Stoßterm zusammensetzt. Die Lösung seiner Transportgleichung benutzte er, um eine sogenannte H-Funktion zu definieren, deren zeitliche Änderung immer kleiner wird. Mutig setzte er die negative H-Funktion mit der Entropie gleich, da beide ja nur zunehmen konnten und im thermodynamischen Gleichgewicht ihr Maximum einnehmen. Der Wiederkehrerwand von Zermelo gegen die H-Funktion Boltzmanns und die Aufforderung von Poincare, vom Studium der Boltzmannschen Abhandlungen abzuraten, da die Voraussetzungen der Reversibilität den Schlussfolgerungen der Irreversibilität widersprächen, trieb Boltzmann schon zu seinen Lebzeiten in die Isolation.

Auch Max Planck stand anfangs den genialen Ansätzen Boltzmanns zur statistischen Deutung der Entropie sehr skeptisch gegenüber, nahm aber später dessen Position an. Damit und mit der revolutionären Quantisierung der Hamiltonschen Wirkung war er am 14. Dezember 1900 imstande, die allgemeinen Gesetze der Wärmestrahlung in Übereinstimmung mit den Messungen aufzustellen²³.

Über die Akzeptanz des Paradoxons von Sein und Werden durch Max Planck äußerte sich Ilya Prigogine folgendermaßen: „Nach dem Rückzug Boltzmanns war Planck der einzige Physiker des 19. Jahrhunderts, der sowohl vom mechanischen Weltbild als auch vom objektiven Charakter des 2. Hauptsatzes überzeugt war. Die grundlegenden Naturprozesse waren für Planck irreversibel. Er wies alle Versuche zurück, die Irreversibilität mit menschlichen Beschränkungen in Verbindung zu bringen.“

Das Paradoxon von Sein und Werden hängt eng mit dem Wirkungsbegriff zusammen. Die tiefe Bedeutung des Wirkungsbegriffes für ein ganzheitliches Verständnis der Natur im Rahmen der Wissenschaft, aber auch der schöpferischen Entwicklung, wie es die Naturphilosophie anstrebt, hat uns erst Henri Poincare eröffnet, als er versuchte das Dreikörperproblem zu lösen.

²² L. Boltzmann, Populäre Schriften, Vieweg Verlag, Braunschweig 1979, pg. 26

²³ M. Planck: Zur Theorie des Gesetzes der Energieverteilung im Normalspektrum; in: Quantentheorie (Ed. D. ter Haar, Akademie Verlag, Berlin 1969)

Jules Henri Poincare war ein bedeutender französischer Mathematiker und mathematischer Physiker, der ab 1881 als Professor an die Universität in Paris berufen und ab 1906 als Präsident der Academie des Sciences gewählt wurde. Neben seinem Hauptinteresse an Topologie, Theorie der Differentialgleichung und nichtlinearer Dynamik befasste er sich mit dem n-Körperproblem und dessen Anwendung in der Astronomie, mit der gruppentheoretischen Begründung der Lorentz-Transformationen und populärphilosophisch mit Themen wie Methode und Wert der Wissenschaft oder Wissenschaft und Hypothese²⁴.

Als man einen Preis für die Beantwortung der astronomischen Frage aussetzte, ob das Planetensystem wirklich stabil sei, was man seit Keplers „Harmonice mundi“, Newtons „Principia“ und der „Mechanique celeste“ des Simon Laplace annahm, arbeitete auch Poincare 1889 an dieser Antwort, die ihn zum 3-Körperproblem der Physik führte. Poincare ging von der Hamilton-Jacobi-Gleichung aus, die für ein 2-Körperproblem – etwa die Bewegung der Erde um die Sonne – lösbar bzw. integrabel ist, wenn man das System auf einen kräftefreien Zustand transformieren kann, wo die Hamiltonsche Wirkung des Systems separierbar wird. Poincare versuchte durch Hinzunahme des Einflusses eines dritten Körpers – etwa des Planeten Mars – sich der gesuchten Lösung zu nähern, indem er durch kleine Störungen des bereits gelösten 2-Körperproblems allmählich den gesamten Einfluss des dritten Körpers zu erreichen suchte. Das Ergebnis von Poincares Versuch, das 3-Körperproblem zu lösen, schlug fehl, nicht weil er nicht genug Geisteskraft besessen hätte, sondern weil er zeigen konnte, dass es unlösbar ist. Unlösbar ist es aber deshalb, weil die Hamiltonsche Wirkung nicht separierbar ist, weil das 3-Körper-System eine vernetzte Ganzheit bildet.

Diese Erkenntnis Poincares veränderte den grundlegenden Mythos der modernen Wissenschaft, mittels Empirie und Theorie unter Verwendung von mathematischen Methoden deterministische Naturgesetze erkennen und daher zukünftige Ereignisse exakt prognostizieren zu können, gewaltig: es war ein schockartiger Paradigmenwechsel - doch bemerkten ihn vorerst nur wenige Wissenschaftler, am allerwenigsten aber die Gesellschaft selbst, die weiterhin an die Voraussagekraft der Wissenschaft festhielt.

Da das 3-Körperproblem aus logisch einsichtigen Gründen generell nicht lösbar ist und damit im Grunde auch jedes Mehrkörper-Problem, wenn die Systemteile durch starke Kopplungen derart miteinander verbunden sind, dass man nicht mehr auf kräftefreie Zustände kanonisch transformieren kann, wenn also die Hamiltonsche Wirkung nicht separierbar ist und das Mehrkörper-System daher holistisch evolviert, ist die Zukunft offen, sind Prognosen nur bedingt gültig, ist das schöpferische Werden ein Prinzip der Natur. Poincare erläutert dies so: „Was die Wissenschaft erreichen kann, sind nicht die Dinge selbst, wie die naiven Dogmatiker meinen, sondern es sind einzig die Beziehungen zwischen den Dingen; außerhalb dieser Beziehungen gibt es keine erkennbare Wirklichkeit.“ Diese Beziehungen unterliegen aber den Prinzipien der Evolution.

Der US-amerikanische Mathematiker George Birkhoff übertrug 1928 Poincarés Erkenntnisse auf iterative Prozesse und vereinfachte damit das Problem. Stephen Smale überdachte in den 60-iger Jahren des 20. Jahrhunderts Poincarés Arbeit unter dem Gesichtspunkt der Iteration. Er zeigte, dass es möglich ist, das n-Körper-Problem zu analysieren und zu verstehen. 1954 präsentierte der russische Mathematiker A. Kolmogorov auf dem "Internationalen Mathematiker-Kongress" in Amsterdam ein Theorem zu den Grenzen Hamiltonscher Systeme. Er konnte aber weder all seine Thesen mathematisch beweisen noch ein Anwendungsgebiet vorweisen, in dem diese in der Natur realisiert wären. Der endgültige Beweis von den Grenzen der Separierbarkeit der Hamiltonschen Wirkung blieb seinen Mathematiker-Kollegen V. Arnold (1962) und J. Moser (1967) im sogenannten KAM-Theorem vorbehalten²⁵.

²⁴ H. Poincare: Science et methode; Paris 1908

²⁵ F. Scheck: Mechanik, Springer-Lehrbuch, Berlin 1995, pg. 133

Es wäre nun angebracht, Poincares „gefährliche“ Resonanzen im Zusammenhang mit dem KAM-Theorem etwas ausführlicher darzustellen, um das Werk Prigogines in diesem Zusammenhang besser würdigen zu können, doch dies würde zu weit führen.

Für Ilya Prigogine war das KAM-Theorem aber nicht der frustrierende Ausdruck eines Widerstandes der Natur gegen die Fortschritte der Erkenntnis, sondern ein Ansatzpunkt für eine Neuformulierung der Dynamik. Solange nämlich starke Kopplungen vorliegen und das System nicht mehr integrierbar bzw. die Wirkungsfunktion nicht mehr separierbar wird, wird das System erratisch und kann im Phasenraum nur mehr durch eine Verteilungsfunktion beschrieben werden. Mit zunehmender Stärke der Kopplungsparameter wachsen außerdem die zufälligen Gebiete im Phasenraum, bis schließlich ab einer bestimmten Stärke der Kopplung das System chaotisch wird und eine gebrochene zeitliche Symmetrie zeigt. Das sei nach Prigogine das Hauptproblem, das gelöst werden müsse, um das Zeitparadoxon, d.h. das Paradoxon von Sein und Werden zu überwinden.

Um das Versöhnen des Seins mit dem Werden im Sinne von Prigogine einigermaßen einsichtig darzustellen, müsste noch auf die Entwicklung der nichtlinearen Dynamik und der Chaostheorie eingegangen werden, da sich Prigogine in seinem späteren Werk intensiv damit befasste und das deterministische Chaos als Quelle der schöpferischen Entwicklung befand²⁶. Dies würde ebenfalls zu weit führen. Das Jahr 1963 war die Geburtsstunde der Chaostheorie, deren Gesetze großen Einfluss auf Prigogines Vorhaben, das vorhersagbare Sein mit dem unvorhersagbaren Werden, die Wissenschaft mit der schöpferischen Entwicklung zu versöhnen, ausübten.

Um seine Kritik an dem klassischen Rationalismus und die Notwendigkeit der Versöhnung von Sein und Werden zu unterstreichen, zitierte Prigogine Sir James Lighthill, dem damaligen Präsidenten der International Union of Theoretical and Applied Mechanics, der 1986 feierlich erklärte: „Hier muss ich innehalten und im Namen der großen Bruderschaft der Praktiker der Mechanik sprechen. Wir sind uns heute sehr der Tatsache bewusst, dass die Begeisterung, die unsere Vorgänger für den phantastischen Erfolg der Newtonschen Mechanik empfanden, sie auf diesem Gebiet der Vorhersagbarkeit zu Verallgemeinerungen verleitet haben, an die wir vor 1960 möglicherweise allgemein geglaubt haben, die wir aber inzwischen als falsch erkannt haben. Wir möchten uns gemeinsam dafür entschuldigen, dass wir das gebildete Publikum in die Irre geführt haben, indem wir bezüglich des Determinismus von Systemen, die den Newtonschen Gesetzen genügen, Ideen verbreitet haben, die sich nach 1960 als inkorrekt erwiesen haben.“²⁷

6. Prigogines Auflösung des Paradoxons von Sein und schöpferischem Werden

Ilya Prigogine wurde 1917 in Moskau geboren, einige Monate vor der russischen Revolution. Als Schwierigkeiten mit dem neuen Regime zunahmen, verließ seine Familie anfangs 1921 Russland und lebte bis 1929 in der Emigration in Deutschland, ehe sie nach Belgien zog. In Brüssel besuchte Ilya Prigogine das Gymnasium und die Hochschule, die belgische Staatsbürgerschaft erhielt er 1949. Schon früh interessierte er sich für Geschichte und Archäologie, insbesondere aber für Musik, speziell für das Klavierspiel. Nach seinen eigenen Worten konnte er früher musikalische Noten lesen als geschriebene Texte. Das Spielen am Klavier war sein Leben lang seine Lieblingsbeschäftigung in der spärlich vorhandenen Freizeit.

Seit seiner Jugend las er viele philosophische Werke, besonderen Einfluss auf ihn hatte Henri Bergsons Werk „Die schöpferische Entwicklung“. An eine Bemerkung Bergsons erinnerte

²⁶ I. Prigogine: Die Gesetze des Chaos, Insel Taschenbuch Verlag, Frankfurt 1998

²⁷ zitiert in: I. Prigogine: Das Paradox der Zeit, Piper-Verlag, München 1993, pg. 128

sich Prigogine tief gerührt: „Je intensiver wir das Wesen der Zeit studieren, umso deutlicher wird uns klar, dass die ‚Dauer‘ eigentlich Entdeckung, Schöpfung der Formen, kontinuierliche Erzeugung von Neuem bedeutet.“

Besondere Umstände führten ihn aber in eine andere Richtung, nämlich zum Studium der Chemie und Physik, das er 1941 mit dem Doktorat abschloss. Sehr bald übten zwei seiner Lehrer, der Thermodynamiker Theophile De Donder und der Experimentator Jean Timmermans andauernden Einfluss auf seine zukünftige wissenschaftliche Arbeit aus.

Seit der grundlegenden Arbeit von Rudolf Clausius wurde der 2. Hauptsatz der Thermodynamik in Form einer Ungleichung formuliert, wonach die Entropieproduktion immer positiv ist. Diese Formulierung bezieht sich auf Prozesse, die irreversibel wie alle natürlichen Prozesse sind. Die übliche Art, thermodynamische Prozesse zu untersuchen und zu lehren, war aber, das thermodynamische Gleichgewicht zu betrachten, gleichsam Thermostatik zu betreiben, wo die Entropieproduktion Null ist. Der große Verdienst De Donders bestand nach der Darstellung Prigogines darin, die Entropieproduktion herauszustellen und mit einer neuen Funktion zu verbinden, die er Affinität nannte. Damit gab er dem 2. Hauptsatz eine neue Formulierung, die auf dem Konzept der Affinität und dem Grad der zeitlichen Entwicklung einer Reaktion begründet war.

Der merkwürdige Begriff der Zeit in Zusammenhang mit dem 2. Hauptsatz ließ Prigogine vom Anfang an ahnen, dass man ein neues, unerwartetes Element in die Beschreibung der Evolution der Welt bringen müsse. Ohne Zweifel dürfte es der gleiche tiefe Eindruck gewesen sein, wie ihn so berühmte Physiker wie Ludwig Boltzmann und Max Planck vor ihm empfunden hatten. Prigogine fühlte damals, dass sich seine wissenschaftliche Karriere der Klärung von makroskopischen wie auch mikroskopischen Aspekten des 2. Hauptsatzes widmen werde, um dessen Gültigkeit auf neue Situationen und fundamentale Gebiete der Physik, wie klassische Physik und Quantenphysik, aber auch der Biologie und Anthropologie auszudehnen.

Der zweite von Prigogine geschätzte Lehrer war Jean Timmermans, der sich für Anwendungen des 2. Hauptsatzes speziell auf Flüssigkeiten, allgemein aber auf komplexe Systeme interessierte. Timmermans pflegte damals die Tradition der großen holländischen Schule der Thermodynamik um van der Waals und Roozeboom. Damit konnte Prigogine die notwendige Ergänzung von geistvoller, intuitiver Theorie und praktischer Anwendung thermodynamischer Methoden eindrucksvoll kennen lernen und hautnah erfahren.

Unter all den Perspektiven, die sich für Prigogine durch die Thermodynamik eröffneten, war eine, die sein stärkstes Interesse erregte: es war das Studium von irreversiblen Phänomenen, die den Pfeil der Zeit manifestieren. Von Anfang an spürte er, dass diesen Prozessen eine wesentlich konstruktive Rolle zukomme, im Gegensatz zur herkömmlichen Auffassung, wonach diese Phänomene bloß Degradation und Verlust an Arbeit bedeuten würden. Aus der Sicht Prigogines waren Lebewesen aber der schlagende Beweis für Systeme, die hoch organisiert sind und für die irreversible Phänomene eine wesentliche Rolle spielen. Der Einfluss von Bergsons „Schöpferische Entwicklung“, aber auch der Brüsseler Schule der theoretischen Biologie war damals unübersehbar.

Derartige, anfangs eher vage intellektuelle Überlegungen trugen schließlich 1945 zur Ausarbeitung des Theorems der minimalen Entropieproduktion bei, das auf Nichtgleichgewichts-Zustände angewendet werden konnte²⁸. Dieses Theorem gab eine präzise Darstellung der Analogie zwischen der Stabilität von thermodynamischen Zuständen und der Stabilität von biologischen Systemen, wie sie etwa im Konzept der Homöostase ausgedrückt wird, die Claude Bernard entworfen hatte. Prigogine wendete dieses Theorem auf andere wichtige Probleme der Biologie an, z.B. auf die Energetik der embryonalen Entwicklung.

²⁸ I. Prigogine: Acad. Roy. Belg. Bull. Cl. Sc. 31 (1945) 600,

Das Theorem bzw. Prinzip der minimalen Entropieproduktion gilt für den linearen Zweig irreversibler Phänomene, den der Schwede Lars Onsager mit seinen reziproken Relationen entwickelt hatte und für den er später den Nobelpreis erhalten sollte. Die Frage für Prigogine aber war: Gibt es stationäre Zustände fern vom thermodynamischen Gleichgewicht, für die Onsagers Relationen nicht gelten, die aber noch immer im Rahmen einer makroskopischen Beschreibung möglich sind? Lineare Beziehungen sind zwar sehr gute Approximationen für das Studium von Transportphänomenen wie Wärmeleitung, Wärmediffusion, etc., sie sind aber im allgemeinen für die chemische Kinetik nicht gültig.

Das chemische Gleichgewicht wird nämlich durch die Kompensation zweier antagonistischer Prozesse bestimmt, während die chemische Kinetik – fern vom Gleichgewicht und weg vom linearen Zweig – üblicherweise mit der entgegengesetzten Situation befasst ist, wo einer der Prozesse vernachlässigt wird. Das Studium irreversibler Prozesse fern vom Gleichgewicht durch Prigogine und Mitarbeiter dauerte von 1947 bis 1967, bis sie schließlich den Begriff der „dissipativen Struktur“ entwickelten²⁹. Damit konnte auch A. Katchalskys Anwendung der linearen Thermodynamik nahe dem Gleichgewicht in der Biologie³⁰ mit dissipativen Systemen fern vom Gleichgewicht erweitert werden, die auch für biologische Systeme gelten.

Die Zusammenarbeit von Prigogine mit Paul Glansdorff war sehr fruchtbar und mündete in einem Evolutionskriterium, das von beiden fern vom Gleichgewicht und weg vom Minimum der Entropieproduktion angewendet wurde. Daraus resultierten Stabilitätskriterien, die zur Entdeckung von kritischen Zuständen und neuen Strukturen führten. Dieses ganz unerwartete Auftauchen von Unordnungs-Ordnungs-Prozessen fern vom Gleichgewicht, aber konform mit dem 2. Hauptsatz, veränderte grundlegend dessen traditionelle Auffassung. In Ergänzung zu den klassischen Gleichgewichts-Strukturen sahen sich 1971 Prigogine und sein Kollege Glansdorff neuen, dissipativen, kohärenten Strukturen gegenüber³¹.

Das Konzept der dissipativen Strukturen fand rasch wissenschaftliche Anerkennung, vor allem aber das Interesse talentierter junger Wissenschaftler, die zu Prigogine an die freie Universität in Brüssel oder nach Austin in Texas strömten, sodass er das „Institute for Studies in Statistical Mechanics and Complex Systems“ gründen konnte. Beispielsweise entwickelte Prigogine damals gemeinsam mit R. Lefever und G. Nicolis ein neues kinetisches Modell, den sogenannten „Brüsselator“, ein sehr einfaches nichtlineares Diffusions-Reaktions-System, an dem man die wunderbare Vielfalt dissipativer Strukturen studieren konnte³². Die durch Prigogine angeregten, experimentellen Untersuchungen im Bereich biochemischer Reaktionen führten im Jahre 1958 zur Entdeckung von oszillierenden chemischen Reaktionen wie beispielsweise die Belousov-Zhabotinsky-Reaktion oder den sogenannten Brüsselator. Für seine Arbeiten zur Nichtgleichgewichts-Thermodynamik irreversibler Prozesse fern vom Gleichgewicht und der theoretischen Beschreibung dissipativer Strukturen erhielt Prigogine im Jahre 1977 den Nobelpreis für Chemie.

Das Konzept der dissipativen Strukturen hatte aber auch eine völlig unerwartete Konsequenz: schon geringste Fluktuationen können sich als riesige Fluktuationen herausbilden und durch den Austausch von Materie und Energie mit der Umgebung stabilisiert werden³³.

Die Erfolge auf dem Gebiet der irreversiblen Phänomene führten dazu, dass Prigogine sich wieder darauf konzentrierte, die Irreversibilität in die klassische und Quantenphysik einzubeziehen. Die konzeptionellen Methoden der statistischen Mechanik des

²⁹ I. Prigogine: *Structure, Dissipation and Life*, North-Holland Publ. Company, Amsterdam 1969.

³⁰ A. Katchalsky, P.F. Curran: *Non-Equilibrium Thermodynamics in Biophysics*, Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass., 1946.

³¹ P.Glansdorff, I. Prigogine: *Thermodynamic Theory of Structure Stability and Fluctuations*, Wiley and Sons, London, 1971.

³² J. Tyson: *Journ. of Chem. Physics*, 58 (1973) 3919

³³ I. Prigogine. and G. Nicolis: *Proc. 3rd. Intern. Conference: From Theoretical Physics to Biology*, Versailles, France, 1971.

Gleichgewichtes waren durch die Arbeiten von W. Gibbs und A. Einstein gut fundiert worden. Prigogines Interesse richtete sich aber auf Probleme, die mit der Grundlegung der Irreversibilität in der statistischen Mechanik fern vom Gleichgewicht zusammenhingen. Die konstruktive Rolle der Irreversibilität legte es nahe, die Boltzmannsche Methode, die ja nur für Gase konzipiert war, auf kondensierte Systeme zu erweitern. Gemeinsam mit R. Balescu gelang es Prigogine, eine Statistische Mechanik für Nichtgleichgewichte von einem rein dynamischen Gesichtspunkt aus zu formulieren³⁴.

Unter der essentiellen Mitwirkung von Leon Rosenfeld war Prigogine schließlich imstande, eine neue Interpretation der Irreversibilität aufzustellen. Der Hauptgedanke dabei war folgender: wenn Irreversibilität nicht das Ergebnis von zusätzlichen Approximationen ist, dann kann diese nur mit einer Theorie von nichtunitären Transformationen ermöglicht werden, denn damit werden Dynamik und Thermodynamik zwei ergänzende Beschreibungen der Natur. Mit diesem Ansatz war es möglich, die Grenzen der Hamiltonschen Physik aufzuzeigen und zu überwinden, sogar der Übergang von physikalisch-chemischen zu biologischen Systemen wurde durch die große Allgemeinheit und Komplexität des Konzeptes nichtunitärer Transformationen möglich.³⁵

In seinen späteren Jahren gelang es Prigogine, eine mikroskopische Theorie der Irreversibilität auszuarbeiten, die eng mit dem Begriff des Chaos zusammenhing. Seine begrifflichen Begleiter dorthin waren Entropie, Boltzmanns H-Theorem, Poincares Resonanzen, Große-Poincare-Systeme, integrable und nichtintegrable Systeme, Gibbs-Einstein-Ensemble-Theorie, Gleichgewichte, Nichtgleichgewichte, dissipative Systeme, verallgemeinerte Hilbert-Räume, irreduzible spektrale Darstellungen, Chaos, Fluss der Korrelationen, Lyapunov-Zeiten, Friedrichs-Modell zur Lösung nichtintegrabler Systeme etc. Prigogine bezeichnete seinen neuen Ansatz als die Auflösung des Zeitparadoxons³⁶. Dazu war es notwendig, den Begriff von Naturgesetzen neu zu definieren. Naturgesetze aus der Sicht Prigogines beziehen sich nicht auf Trajektorien wie in der klassischen Physik oder auf Wellenfunktionen wie in der Quantenphysik, sondern auf Ensembles bzw.

Verteilungsfunktionen wie die Gibbsche Verteilungsfunktion in der klassischen Physik oder die Dichtematrix in der Quantentheorie. Die entsprechenden Naturgesetze sind die Liouville-Gleichung in der klassischen Physik und die von-Neumann-Gleichung in der Quantenphysik. Für Große-Poincare-Systeme mit nicht zu eliminierenden Wechselwirkungen müssen Lösungsansätze wie in der Störungstheorie gemacht werden, die aber generell zu Poincares Resonanzen und Divergenzen führen und daher nicht integrabel sind. Instabilität und Chaos hängen eng mit diesen Poincare-Divergenzen zusammen. Diese Divergenzen hängen aber auch eng mit der dualen Struktur der Physik zusammen und markieren eine Schranke zwischen reversiblen dynamischen Systemen (mit invarianten Gesetzen bei Zeitumkehr $t \Rightarrow -t$) und dissipativen Systemen mit gebrochener zeitlicher Symmetrie (mit varianten Gesetzen bei $t \Rightarrow -t$). Chaotisch sind jene Systeme, deren Entwicklung klassisch nicht durch Trajektorien oder quantentheoretisch nicht durch Wellenfunktionen beschrieben werden kann.

Was die duale Struktur der Quantentheorie anlangt, meinte Prigogine: „Somit hat die Quantentheorie eine duale Struktur: einerseits die Schrödinger-Gleichung, eine deterministische und in der Zeit reversible Gleichung, und andererseits den Zusammenbruch der Wellenfunktion im Zusammenhang mit der Messung, die eine Brechung der zeitlichen Symmetrie und damit Irreversibilität mit sich bringt.“ Diese duale Struktur erfordert nach Prigogine eine neue Formulierung im Sinne von Wahrscheinlichkeiten.

Paul Davies kommentierte die bisherige Lösungsversuche, diese duale Struktur zu überwinden, auf folgende Weise: „Versuche, aus diesem Paradoxon auszubrechen, reichen vom Bizarren, etwa der Viele-Welten-Interpretation von Hugh Everett, bis zu den mystischen

³⁴ I. Prigogine: Non-Equilibrium Statistical Mechanics, Interscience Publ., New York, London, 1962-1966

³⁵ I. Prigogine: Vom Sein zum Werden, Piper, München 1979

³⁶ I. Prigogine: Das Pradox der Zeit, Piper, München 1993, pg. 227 ff

Ideen von John von Neumann und Eugene Wigner, die sich auf das Bewusstsein des Beobachters berufen. Die Debatte über die quantenphysikalische Beobachtung ist so lebhaft wie eh und je.“

Unter Anwendung des Friedrichs-Modells werden nun nach Prigogine den für die Resonanzen und Divergenzen verantwortlichen Nennern in den Entwicklungstermen Imaginärteile hinzugefügt und die Gleichungen ähnlich gelöst, wie man komplexe Integrationen mit dem Residuensatz durchführen kann. Diese Prigogine-Methode vermeidet die Poincareschen Divergenzen und führt zu einer komplexen spektralen Theorie mit irreduziblen Darstellungen in generalisierten Hilbert-Räumen. Diese komplexe spektrale Darstellung ist umfassend und bezieht nicht nur das Sein in Form von periodischem Verhalten mit ein, sondern auch das Werden in Form von Gleichgewichts-Strukturen wie Kristalle, doch auch dissipativen Strukturen fern vom Gleichgewicht und deren neuartige, unvorhersehbare, schöpferische Evolution. Die eigentliche Wurzel für die Möglichkeit der Entwicklung einer derartigen komplexen spektralen Theorie mit irreduzibler Darstellung ist für Prigogine aber das schöpferische Chaos, dessen Gesetze er mit seinen Ansätzen in den letzten Jahren seines Lebens in Übereinstimmung bringen konnte³⁷.

Prigogine betrachtet dies als Dialog mit der Natur³⁸: „Der Weg von der Quantenwelt zu unserer klassisch-dynamischen Welt führt über instabile dynamische Systeme. Das, was Bohr eine gemeinsame Sprache nennt, ist in Wirklichkeit eine „gemeinsame Zeit“. Nur dank einer gemeinsamen Zeit können wir mit der Natur kommunizieren. Es ist nicht mehr der Beobachter, sondern es ist die Instabilität des Systems, die die „Potentialitäten aktualisiert“.

All diese Fragen in Zusammenhang mit der Irreversibilität hatten ein gemeinsames Element: den Begriff der Zeit. Die reversible Zeit des Seins mit der irreversiblen Zeit des Werdens, die Ewigkeit mit der Endlichkeit und Evolution zu versöhnen, war das große Anliegen des Naturphilosophen und Wissenschaftlers Ilya Prigogine. Über den doppelbödigen Begriff der Zeit suchte Prigogine auch einen Brückenschlag zwischen Physik einerseits und Biologie sowie Anthropologie andererseits auf elementarer Ebene herzustellen.

Prigogine wusste sich dabei einig mit Karl Popper, der meinte: „Nach meiner Ansicht ist der Indeterminismus mit dem Realismus vereinbar“. Prigogine gelang es, in den Bereich der Physik einzubringen, was Popper als seinen „metaphysischen Traum“ bezeichnet hatte: „Es ist wahrscheinlich, dass auch dann, wenn es keine beobachtenden Subjekte gäbe, die mit ihr experimentieren und in sie eingreifen, die Welt genau so indeterministisch wäre, wie sie ist.“³⁹ Prigogine fügte hinzu: „... und Ereignisse auch ohne beobachtbare Subjekte stattfinden würden.“

7. Persönliche Würdigung

Ich hatte die Ehre, von Ilya Prigogine gemeinsam mit meinem Freund, dem Anthroposophen Anton Winter, nach Brüssel eingeladen worden zu sein^{40, 41}. Wir hatten dort eine Woche lang Gelegenheit, mit Prigogine selbst und einigen seiner Kollegen Fragen im Zusammenhang mit irreversibler Thermodynamik und nichtlinearer Dynamik zu diskutieren, die vor allem Bezug zur Philosophie und zur Biophysik hatten. Es war eine eindrucksvolle Phase in meinem

³⁷ I. Prigogine: Die Gesetze des Chaos, Insel Taschenbuch, Frankfurt/Main 1998

³⁸ I. Prigogine, I. Stengers: Dialog mit der Natur, Piper, München 1981

³⁹ zitiert in: I. Prigogine, I. Stengers: Das Paradox der Zeit, Piper, Zürich 1993, pg. 200

⁴⁰ H. Klima: Principles of Coherence in Physics and Biology; Institut für Chemische Physik (Vorstand I. Prigogine), Freie Universität Brüssel, 8.11.1983

⁴¹ H. Klima: Ultraweak Photon Emission; Institut für Chemische Physik (Vorstand I. Prigogine), Freie Universität Brüssel, 3.11.1983

Leben, dass ich über so grundlegende Fragen des Seins und des Werden in Natur und Geist mit diesem bedeutenden Naturwissenschaftler und Naturphilosophen persönlich sprechen konnte.

Im Rahmen eines über Jahrzehnte von Michael Benedikt geführten Seminars „Philosophische Grundlagen zur Methodendiskussion der Naturwissenschaften und Gesellschaftswissenschaften“ wurden Prigogines Arbeiten immer wieder aufgegriffen⁴². Im Sommersemester 1987 war – inspiriert durch I. Prigogine – die „Zeit“ das Zentralthema dieses Seminars. Einzelthemen wie „Reversible oder irreversible Zeit?“ (H. Klima), „Die Zeit in der Physik“ (J. Sumhammer), „Physik der Zeitrichtung“ (H. Markum), „Zeit und Altern“ (H. Niedermüller), „Bemerkungen zur Zeit in der Thermodynamik“ (K. Trinchler), „Formen des Zeiterlebnisses“ (P. Innerhofer), „Gesellschaftliches Altern“ (R. Burger) oder „Eigenzeit, Lebenszeit und Weltzeit“ (M. Benedikt) beleuchteten den Zeitbegriff aus unterschiedlichen Perspektiven, wobei kontroverse Positionen dem philosophischen Anspruch entsprachen, wie etwa Karl Trinchlers biothermodynamische Zeit versus Ilya Prigogine's Zeitbegriff in dissipativen Systemen.

Auf Einladung des Außeninstitutes der Technischen Universität Wien und der Studentischen Forschungsgemeinschaft des Zentralausschusses der Österreichischen Hochschülerschaft wurde zu Ehren von Ilya Prigogine ein dreitägiges internationales Symposium veranstaltet⁴³, an dem nicht nur Prigogine selbst teilnahm, sondern auch Mitarbeiter von Prigogine an der Freien Universität Brüssel sowie Wissenschaftler und Philosophen aus Paris und Wien. Dabei wurde auch Themen behandelt, die den naturphilosophischen Aspekt der Arbeit Prigogines herausstrichen. sprachen P.M.Allan über „Evolution of ecological and human systems“, I.C.Verhaegen und J.L.Deneubourg über „Selforganisation in insect societies“, P. Schuster über „Deterministic and random selection“, M. Benedikt über „Kultur: Eine kollektive Vision zwischen Selbstorganisation und Verfall“, M. Nebenzahl über „Skizze einer generativen Grammatik der Natur“, I. Prigogine über „Physical basis of selforganisation“ und über „Time: Only an illusion?“

Prigogines Ansatz über dissipativen Systemen wurde auch in einer kritischen Analyse der Begriffsbildung im Rahmen eines Symposiums zur Krise der Phänomenologie herangezogen⁴⁴. Die geringe kritische Reflexion über die Herkunft der Begriffe, über ihr provisorisches An-Sich-Sein im Husserlschen Sinne, über ihre operationalen Korrelate in Standards und deren genauer Herstellungsanleitung hat heute zu einem äußerst bedenklichen Zustand geführt, wo die Standards auf Objekte angewendet werden, die man als offene lebende Systeme bezeichnet. Greifen wir aus der Palette der physikalischen Standards einen Begriff heraus, der allgemein bekannt ist: die Temperatur. Dieser Begriff soll unseren Wärmesinn widerspiegeln, und dessen Standard wurde im Thermometer geschaffen. Bei der

⁴² H. Klima: Physik des Werdens: Bemerkungen zu Prigogines Entropiebegriff; Institut für Philosophie, Universität Wien, 20.1.1983

H. Klima: Allgemeine Einführung in das naturwissenschaftliche Werk von I. Prigogine; Universität für Bodenkultur, Wien 15.6.1983

H. Klima: Systemtheoretische Konzeptionen in der Nichtgleichgewichts-Thermodynamik
Institut für Philosophie, Universität Wien, 7.4.1984

H. Klima: Enzyklopädischer und fundamentalwissenschaftlicher Anspruch der Naturwissenschaft: Prigogine, Haken und Fröhlich; Institut für Philosophie, Universität Wien, 20.10.1984

⁴³ Außeninstitut der Technischen Universität Wien, Zentralausschuss der Österreichischen Hochschülerschaft: „Symposium: Das Prinzip der Selbstorganisation in Natur und Kultur“ unter Beteiligung von Ilya Prigogine, Nobelpreis für Chemie 1977; Wien, 16. – 18. Juni 1983

⁴⁴ H. Klima: „Ernst Machs Phänomenologie und das Problem eines Ordnungsbegriffes für offene Systeme“, Symposium über "Die Krise der Phänomenologie und die Pragmatik des Wissenschaftsfortschrittes: Zur Erinnerung an die Wiener Vorträge von Edmund Husserl im Mai 1935", Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung, Institut für Philosophie, Institut für Wissenschaft und Kunst, Französisches Kulturinstitut Wien, 10.-12.5.1985

Messung der Temperatur ist aber genau zu achten, wie man den Standard mit dem zu messenden Objekt wechselwirken lässt. Dazu ist es erstens notwendig, das Wärmegleichgewicht abzuwarten und zweitens die Messung an einem thermisch isolierten, geschlossenen System durchzuführen. Nur unter derartigen Bedingungen ist die Temperatur eines Objektes eine sinnvolle, durch die Ergänzung unserer Sinnesorgane zum Begriff festgelegte standardisierte Größe.

An einem offenen System kann sich aber kein Wärmegleichgewicht einstellen, weil die Wärme fließt und damit die Voraussetzungen bzw. Bedingungen für die Messung der Temperatur als Vergleich zwischen Objekt und Standard nicht gegeben sind. Ein offenes System strebt im Gegensatz zum geschlossenen System nicht einem Wärmegleichgewicht zu, sondern vollführt unter bestimmten Umständen fern vom thermodynamischen Gleichgewicht Phasenübergänge zu dissipativen Systemen, von deren gesetzmäßigem Verhalten wir heute auf Grund der wissenschaftlichen Arbeiten von Ilya Prigogine ausreichende Kenntnis haben. Aus thermodynamischen Gründen ist es nur möglich, die Temperatur im thermodynamischen Gleichgewicht, d.h. eigentlich nur im Zustand des Todes zu messen, dessen Ordnungszustand durch die Maxwell-Boltzmann-Verteilung bzw. dessen Wärmestrahlung durch das Plancksche Strahlungsgesetz wiedergegeben wird. Offene dissipative Systeme, wie etwa ein lebender Organismus, erhalten und korrigieren ihre Ordnung durch ständige Aufnahme von Negentropie bzw. Energie hoher Ordnung und Abgabe bzw. Dissipation von Wärme als Entropie.

Sie erhöhen ihre Wärmeabgabe, wenn sie ihre Ordnung bei Bedarf erhöhen, wie etwa im Falle von Krankheiten oder bei hohem Arbeitsaufwand. Dieser Umstand ist an sich nichts Neues. Bedenkt man aber, dass die wissenschaftlichen Grundlagen der Medizin wesentlich in der Physiologie, d.h. vornehmlich in Physik, Biophysik, Chemie und Biochemie liegen, so war es bis zu Prigogines Arbeiten naheliegend, dass man in der Medizin die Temperatur als Standard für den thermodynamischen Zustand eines biologischen Systems verwendete. Mit diesem Standard kann man aber nur bedingt Aussagen über offene Systeme machen – dennoch geschieht dies, indem man Fieber misst. Man misst eine erhöhte Wärmeabgabe und interpretiert sie in der Medizin überwiegend im Begriffsbild des Standards der Temperatur, der aber nur für geschlossene Systeme im thermodynamischen Gleichgewicht gilt. Dies ist äußerst bedenklich, insbesondere dann, wenn man den ursprünglichen Zustand der sogenannten Normaltemperatur durch Verabreichung fiebersenkender Mittel wieder herstellen will. Nach unserem heutigen Wissen über offene dissipative Systeme bedeutet dies aber, den Organismus einzuschränken, seine hohe Ordnung wieder herzustellen, die er durch den Angriff etwa von Viren oder Bakterien teilweise verloren hat. Der übermäßige Einsatz von Antibiotika und fiebersenkenden Mitteln ist aus der Sicht offener dissipativer Systeme ganz sicher neu zu überdenken.

Auf alle Fälle sollte man aus der Perspektive von Prigogines Erkenntnissen über offene dissipative Systeme die Anwendung des Temperaturbegriffes in der Medizin kritisch beleuchten und an seiner Stelle einen geeigneteren Ordnungsbegriff für dissipative Systeme – etwa einen erweiterten Informationsbegriff - setzen. Dazu müssten wir – um mit Mach zu sprechen – wieder zurückkehren zu den unmittelbaren Sinneswahrnehmungen oder mit Husserl durch Wesensschau zurück in die Lebenswelt. Wir müssten die Rückreise vom Objekt wieder zu uns als Subjekt antreten. Dies wäre ein philosophisches Programm für eine biophysikalische Wissenschaft vom Subjekt-Objekt-Verhältnis, das ich mir gestatte im Sinne Husserls und Prigogines vorzuschlagen.