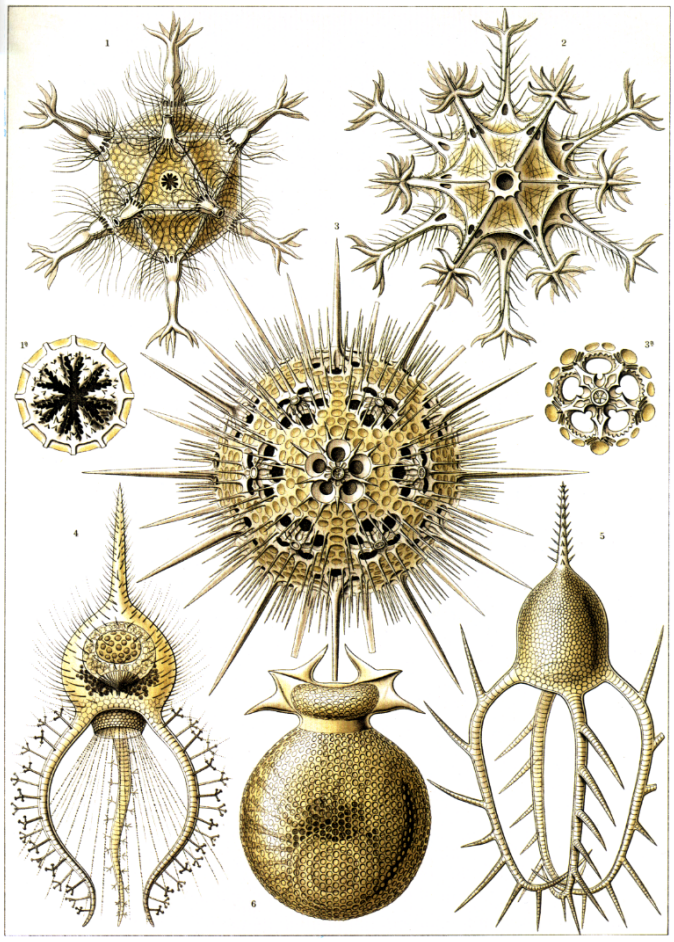
Eine geraffte Sammlung von Gedanken
aus dem Buch

„Das Andere der Natur“ von Jan Cornelius Schmidt,

erschienen im Hirzel-Verlag, 2015

von Paul Gottlob Layer



Phaeodaria. Rohrstrahlinge.

Bis heute wird darüber gestritten, ob der eminente Jenenser Biologe Ernst Haeckel einige Bilder geschönt hat, die er zur Darstellung seines biogenetischen Grundgesetzes gegen Ende des 19. Jahrhunderts anfertigte. Bilder in seinem sehenswerten Buch „Kunstformen der Natur“ von neu entdeckten Einzellern sind auf jeden Fall schön, vielleicht waren auch sie *zu* schön! Haeckel war Reduktionist, Materialist, Monist. Er und andere wollten die Biologie damals endlich als exakte Naturwissenschaft einführen, so wie es die klassische Physik schon so erfolgreich vorgemacht hatte. Es ging ihm um reproduzierbare, regelhafte, symmetrische Formen, um Determiniertheit, ja, um Grundgesetze in der belebten Natur. So sehr hat er etwa an das „darwinistische Grundgesetz der Höherentwicklung des Menschen“ geglaubt, daß er die Ausrottung von

Behinderten propagiert hat. Bekanntlich war es wieder die Physik, die zuerst begreifen mußte, daß man mit der Determiniertheit der Welt so an seine Grenzen stoßen kann (Unschärferelation, Quantenphysik). In der Biologie braucht es wohl noch einige Zeit, bis sich eine ähnliche Einsicht allgemein durchsetzen wird. Müssen wir denn dann den festen Boden herkömmlicher Naturforschung (Naturalismus) verlassen, der - schon seit der Mensch forscht - durch Einfachheit, Einheitlichkeit, Meßbarkeit, Reproduzierbarkeit und Prognostizierbarkeit als Erkenntnisgrundlagen unverrückbar galt? Nein, sagt Jan Schmidt in seinem Buch „Das Andere der Natur", aber wir müssen unser Denken über die Natur erweitern, müssen „Das Eine der Natur", welches wir reduktionistisch erfassen können, durch ein „Anderes" ergänzen. Von dieser anderen Seite her zeigt sich „Natur ... auch (als) instabil, komplex, chaotisch, zufällig, emergent...", und aus dieser Sicht des Naturgeschehens heraus will der Autor eine *Philosophie der Instabilitä*t entwerfen. Jan Schmidt ist gelernter Physiker und Philosoph und lehrt an der Hochschule Darmstadt (hda) Wissenschafts- und Technikphilosophie. Das Buch stellt eine Sammlung aus Vorlesungen und Vorträgen dar, wobei jedes Kapitel das Thema „Instabilitäten" von einem neuen Blickwinkel beleuchtet. Was sind Instabilitäten, was Selbstorganisation, was ist Zeit, was Zufall, was Kausalität? Diese Erkenntnisse bezieht der Autor dann auf den Kosmos, auf die Evolution bis hin zum menschlichen Gehirn und seinen Leistungen kommt: es sind Fragen nach dem Bewusstsein, Technik und Technikfolgenabschätzung, wie schließlich Aspekten der Ästhetik und der Ethik.

Nicht Stabilität, sondern Instabilität sei der Grundcharakter der Natur, Prozesse der *Selbstorganisation* seien für Leben konstitutiv, so hören wir als Auftakt. Bemerkenswert, dass der Begriff selbst schon in Schellings *spekulativer Physik* auftaucht: „Natur organisiert sich selbst; sie ist nicht nur Kunstwerk. Nicht ihre Form allein, ihr *Daseyn* ist zweckmäßig". Hatte Immanuel Kant einen „*Newton des Grashalms*" für immer und ewig als unmöglich erklärt (wonach die Mathematik zum Verständnis organischen Lebens nichts beitragen könne), scheint seit den sechziger Jahren mit Theorien der nichtlinearen Dynamik, Chaostheorie, Synergetik (Haken/Prigogine 1971) und Stichworten wie Selbstorganisation, dissipative Strukturen, Selbstähnlichkeit, Symmetriebrüchen nun doch genau eine Art *Grashalm-Newton* aufzutauchen. Solche Forschungen lassen erkennen, dass sich letztlich jeder stabile Zustand auf der Makroebene aus unzähligen Instabilitäten im Mikrobereich speist. James C. Maxwell hatte wohl eine Vorahnung davon, wenn er sagte, „dass das Zusammenwirken unendlich vieler Instabilitäten ...nicht durch ein endliches Schema von Gesetzen erfasst werden könne". Der *Schmetterlingseffekt* ist ein gängiges Beispiel (s. unten), wonach eine kleinste Ursache größte Wirkung zeitigen kann. Was versteht man nun unter Instabilität? Drei Typen von Instabilitäten werden unterschieden, die *statische Instabilität*, wie beim *Galton´schen Brett*, die *dynamische Instabilität*, mit der das *deterministische Chaos* gemeint ist, sowie *strukturelle Instabilitäten,* womit etwa die Robustheit von Systemen und deren Phasenübergange an Bifurkationspunkten betrachtet werden. Wie von Prigogine und anderen herausgearbeitet, können durch Symmetriebrechungen neue Formen in der Natur entstehen. Bei Hermann Hakens *Versklavungsprinzip* setzt sich an Instabilitätspunkten *eine* Wellenlänge durch und zwingt alle anderen Wellenlängen im Laser zur Kooperation; daraus folgt also eine makroskopische Ordnungsbildung aus mikroskopischen Fluktuationen instabiler Systeme. Haken hat u.a. betont, dass alles in dieser Welt mit allem verzahnt ist und kritisiert die fragmentierende Methode, bei der Untersuchungsobjekte in immer kleinere Teile zerlegt werden. Er verweist auf Goethe, nach dem der Wissenschaftler zwar die Teile in seiner Hand halte, ihm aber oft das geistige Band fehle. So erhellend

diese neue Sicht auf Naturprozesse einerseits auch ist, man verliert mit ihr zwei Kennzeichen der Wissenschaft, die der Reproduzier- und Prognostizierbarkeit.

Diese *nachmoderne* Wissenschaft ist nicht mehr im leblosen (Experimental)Raum eingeschlossen. Sie erkennt an, dass wir es in der wirklichen Welt mit offenen, lebendigen Systemen zu tun haben, welche einen Anfang und ein Ende besitzen. Sie betrachtet Prozesse in der Zeit. Boltzmann konnte sich noch mit seiner deterministischen Überzeugung durchsetzen, nach der „...im Universum beide Richtungen der Zeit ununterscheidbar sind, so wie es im Raume kein Oben und Unten giebt" (Boltzmann, 1898). Dass sich eine solche Sicht durchsetzen konnte, ist wissenschaftshistorisch und –politisch höchst erstaunlich, weil aus dem damals schon bekannten zweiten Hauptsatz der Thermodynamik (Entropiesatz) ein Zeitpfeil abzuleiten war (nämlich, dass mit dem Wärmetod schließlich alles ein Ende haben wird). Das Dilemma hat man dadurch weggezaubert, dass man „Zeit" einfach als ein Epiphänomen abtat. Spätestens CF von Weizsäcker hat den Entropiesatz wieder als den „Satz von der Geschichtlichkeit der Natur" zur Geltung gebracht (von Weizsäcker, 1958). Weil es Werden und Vergehen gibt, gibt es auch die Zeit, wobei man die Zeit auch als Zeugung verstehen kann. Was mikroskopisch instabil ist, wird makroskopisch irreversibel, bekommt dadurch eine Richtung, eine Eigenschaft, die Prigogine als „Eigenzeit" bezeichnet (1995). Dass die Rückkehr des Zeitpfeiles als wissenschaftliche Größe i.Ü. auch massive Auswirkungen auf unser Verständnis der biologischen Evolution haben dürfte, sei hier nur angedeutet (auch hier wurde vieles weggezaubert).

Wenn von Zeitprozessen die Rede ist, dann muß nach Kausalität und Zufall der Ereignisse gefragt werden. Schon bei Aristoteles war wahres Wissen immer zunächst ein Wissen über Ursache und Wirkung. Andererseits wollte man, ausgehend von Hume, Kant und Laplace, dann auch wieder von einer Allbegründbarkeit bei der Naturbetrachtung wegkommen (*Entsubstanzialisierung, Entteleologisierung* des Kausalitätsbegriffs; s. F. Russell, F. Nietzsche, E. Mach). Die klassische Kausalitätslehre setzte jedenfalls voraus, daß eine *starke Ursache* eine *starke Wirkung* zeitigt. In der *nachmodernen Wissenschaft* stößt man nun aber auf eine *schwache Kausalität* (*schwacher Determinismus;* z.B. Schmetterlingseffekt), „a small cause can have a large effect". Hier läßt sich nun - im Gegensatz zur *starken* – die Wirkung eben nicht prognostizieren, sie bleibt zufallsbehaftet. JCS plädiert dafür, die *schwache* Kausalität eher als *flexibel-emergente* Kausalität zu bezeichnen, denn in ihrer Wirkung kann sie alles andere als schwach sein, sie ist die eigentlich naturgemäße Kausalität.

Die Kehrseite von Kausalität ist der Zufall, ein schillernder Begriff mit wechselhafter Geschichte. Denn *den* Zufall gibt es gar nicht; mit JCS lohnt es sich, den Begriff genauer zu hinterfragen. Für Laplace (1812; 1932) hatte Zufall etwas mit unserem begrenzten Wissen zu tun, denn nur der *Laplace´sche Dämon* sei allwissend. Eher langsam, über die statistische Physik, und dann so recht mit der Evolutionslehre und der Quantentheorie wurde der Zufall zu einem naturwissenschaftlichen Topos. Den klassischen Zufallsprozess meinte etwa der Molekularbiologe Jacques Monod hinsichtlich der Evolution, wenn er sagte „...einzig und allein der Zufall liegt jeglicher Neuerung, jeglicher Schöpfung in der belebten Natur zugrunde". Dieser Zufallstyp begegnet uns beim Münzwurf (bzw., in Lotterie, Roulette, Zufallsgenerator): Bei langen Null-Eins-Zahlenreihen geht die relative Häufigkeit des Auftretens (die *Wahrscheinlichkeit*) von 1 und 0 je gegen ½, aber ihre tatsächliche Folge ist nicht vorhersehbar (ist *nicht abkürzbar, nicht berechenbarer Zufall*). Der *nichtprognostizierbare* Zufall zeigt sich beim

o.g. *Schmetterlingseffekt* und kann – wenn dabei Neues generiert wird – auch als *kreativer Zufall* aufgefasst werden. Anders der Zufallstyp, der eintrifft, *obwohl* die Situation als höchst unwahrscheinlich einzuschätzen ist, wie etwa beim *anthropischen Prinzip* (der *minimalen Wahrscheinlichkeit*, s. unten). Was vereint nun alle Zufälle? Mit Ausnahme des spontanen Quantenzerfalls erscheint dem Autor der Kern seiner acht Zufallstypen (nicht alle hier genannt) in Instabilitäten zu liegen. Es sind dies Symmetriebrüche, also der je zufällige Fortgang von Ereignissen an labilen Kipppunkten. Vor einem solchen erstarrt etwa der *Buridan´sche Esel*: zwischen zwei Heuhaufen stehend verhungert er genau in der Mitte, weil er sich nicht für den einen oder anderen entscheiden kann (für alle, die noch eine Tanzstunde mitgemacht haben, hier ein wohl wirklichkeitsnäheres Bild: weil man sich vor lauter schönen Mädchen nicht für eine entscheiden konnte, waren auf einmal schon alle weg, worauf man sich wie der besagte Esel fühlte!).

Nach Klärung der Grundlagen der Instabilitätslehre, werden diese im zweiten Teil des Buches auf weite Lebensbereiche angewandt, von Betrachtungen des Kosmos bis zu menschlichen Hirnleistungen, wie Bewusstsein, Ethik, Ästhetik und technischen Innovationen. Bei der Entstehung des Kosmos und des Lebens etwa waren Instabilitäten immer wieder konstitutiv. Der Physiker F. Dyson sagt „Wenn wir in das Universum hinausblicken und erkennen, wie viele Zufälle in Physik und Astronomie zu unserem Wohle zusammengearbeitet haben, dann scheint es, als habe das Universum in gewissem Sinne gewusst, dass wir – also wir Menschen - kommen." Somit steuert das ganze Kapitel auf das *anthropische Prinzip* zu: nur weil beim Urknall vor 13,8 Milliarden Jahren die Randbedingungen mit allen Naturkonstanten genau so waren, wie sie waren (der Feinabstimmung des Universums), konnte es schließlich zur Evolution eines bewussten Menschen auf der Erde kommen, d.h. das Auftreten des Menschen war einerseits extrem unwahrscheinlich und erscheint gleichzeitig im Rückblick als fast unausweichlich.

Mit dem Erscheinen des menschlichen Gehirns ist dann eine Struktur entstanden, die den Kosmos, die Natur und sogar sich selbst betrachten kann. Lassen sich Fragen nach Hirnleistungen, wie etwa dem Denken, Erinnern, Fühlen, dem Bewußtsein bis hin zum freien Willen (*Leib-Seele-Problem*), sprich „geistigen Funktionen" vollständig naturwissenschaftlich klären, oder kommen uns hier wieder Instabilitäten in die Quere? Unter Hirnforschern sind hierzu streng reduktionistische Überzeugungen vorherrschend (*eliminativer Materialismus*, *Identitätstheorie*, *Supervenienztheorie*, *Emergenztheorie*, *Funktionalismus, nicht-reduktiver Physikalismus* werden im Buch eingehend besprochen). Dabei wird alles Geistige als strikt physikalisch abhängig vom Gehirn betrachtet. Mit Thomas Nagels Frage „Wie es sich anfühlt, eine Fledermaus zu sein" kommt JCS zur Darstellung der Gegenpositionen. Das *Qualia-Problem* stellt klar, dass es bei mentalen Vorgängen um phänomenale Qualitäten geht (auch Erste-Person-Perspektive, Subjektivität, Intentionalität, Willensfreiheit bis hin zum Selbst). Deren Erklärung auf rein physikalischer Ebene muß unzureichend bleiben, weil man sich dabei philosophisch gesprochen auf einen unzulässigen Kategoriensprung einläßt. Jedoch nicht als Philosoph, sondern auf dem Boden der Hirnforschung will JCS diese reduktionistischen Programme „innerneurowissenschaftlich" hinterfragen. Er weist auf Forschungsbefunde hin, nach denen das Gehirn ein chaotisches, instabiles, stark rückgekoppeltes System darstellt. Beispiele sieht er im asymmetrischen Aufbau von Synapsen und deren Physiologie, oder auch in Hirnaktivitätsmustern, wie man sie im Elektroenzephalogramm analysieren kann. Kurz vor epileptischen Anfällen etwa

werden Kipppunkte überschritten, wodurch die Dynamik der Hirnaktivitäten abnimmt. Dies setzt der Beschreibbarkeit, der Berechenbarkeit, der Reproduzierbarkeit von Gehirnaktivitäten wohl grundsätzliche Grenzen. Interessant, dass Maxwell dies schon um 1870 herum erkannt, und auch schon auf die Frage nach dem freien Willen hin thematisiert hatte. JCS befindet abschließend, dass die neurophilosophische Debatte im Grunde eine anthropologische ist, welche das Menschsein als neurophysiologisch unbestimmbar einstuft.

Auch moralisches Verhalten basiert auf (instabilen) Hirnleistungen. Könnte daher *nachmodernes* Denken bei ethischen Grenzziehungen, etwa bei Umwelt- oder biomedizinischen Fragen, Hilfestellung leisten? Hans Jonas hatte erkannt, dass rein reduktionistisches Denken nicht ausreicht, um eine nachhaltige Wissenschaftsethik zu begründen, sondern dass dieses um eine reflektierte metaphysische, ebenso wie eine teleologische Sichtweise zu erweitern wäre. Die Natur hat für ihn Ziele, etwa das der Selbsterhaltung. Hieraus entwickelt er seinen *verantwortungsethischen Imperativ*, nach dem der Mensch vorausschauend vorsichtig, also konservativ handeln solle, so dass die Menschheit mitsamt seiner Umwelt weiterleben kann. Zum oft verpönten Teleologie-Denken bei Jonas lässt uns eine ironische Bemerkung von Alfred Whitehead (1974) schmunzeln: „Wissenschaftler, deren Lebenszweck in dem Nachweis besteht, dass sie zwecklose Wesen sind, sind ein hochinteressanter Untersuchungsgegenstand“. Dass sich die klassische Naturwissenschaft aus der Ethik-, wie der Zweckdiskussion herausstehlen konnte, hat nach JCS viel mit ihrer Hinwendung zu den Mikro- und Makrobereichen zu tun. So hat schon der Biologe Adolf Portmann (1955) angemerkt „die Forschung, die ins Submikroskopische, ins Strukturgefüge der Moleküle vorstößt, zieht aus der Heimat des Menschen aus“. Wie oft wünscht man sich doch als heutiger (Molekular)Biologe wieder eine solch souveräne Schau auf Naturdinge!

Als Zukunftsaufgabe der Naturphilosophie könnte somit die Entwicklung einer neuen Naturethik – im Sinne von Hans Jonas - anstehen, welche dann Prozesse der Selbstorganisation und Instabilitäten genauer in den Blick zu nehmen hätte. Hier denkt man sofort an neue Technologien und Technikfolgenabschätzung. Vor allem sind es Themen der Bionik, wenn gefragt wird, wie viel kann die Technik von der Natur abschauen (Techniknachahmung), und wie viel heutiger Technik ist schon in der Natur abgebildet (der technomorphe Blick auf die Natur), können gar Naturgesetze in Technologien umgesetzt werden. Einerseits geht es um Zweckmäßigkeit in der Natur, um Technik als Vervollkommnung und Optimierung des Mängelwesens Mensch. Andererseits sind es neue Technikfelder des Bioengineerings, des Gewebeersatzes, der Stammzellbiologie bis hin zur synthetischen Biologie, die aufgrund ihrer innewohnenden Instabilitäten oft nicht prognostizierbar in ihrem Ausgang sind. Diese grundsätzliche Ambivalenz *nachmoderner Techniken* und ihrer Folgenabschätzung gemahnen wieder an Hans Jonas: im Zweifel die Hände weglassen.

Das Wahre, Gute und Schöne gehörten bei den alten Griechen zusammen; sie „wahr“nehmen zu können, sind auch wieder Hirnleistungen. Seit der Neuzeit galt jedoch mehr und mehr, dass Wissenschaft nur die Wahrheit, nicht die Schönheit in den Blick zu nehmen habe. Bacon hatte das Experiment zum wissenschaftlichen Programm erklärt, dem sich Goethe bekanntlich mit seiner Gestaltlehre noch widersetzen wollte, wenn er propagierte „Man suche nur nichts hinter den Phänomenen, sie selbst sind die Lehre“. Bloß nicht störend in die Natur eingreifen, sondern genaues Hinschauen war sein Motto. Die Trennung in zwei Welten, in zwei Kulturen von Wissenschaft und Kunst war jedoch

unaufhaltsam. Max Weber sprach von der *Entzauberung der Welt*, und Martin Heidegger schließlich davon, dass „es Schönes in der Wissenschaft überhaupt nicht gibt". Ästhetik wurde zum Gegenbegriff zur Naturwissenschaft, zum *Anderen in der Natur*. Lassen sich die beiden – Wissenschaft und Ästhetik - wieder zusammenbringen? Dass „das Einfache das Siegel des Wahren ist", war und ist eine wesentliche Hintergrundüberzeugung in der Naturwissenschaft. Immer wieder starrten Physiker überwältigt auf die Einfachheit und damit Schönheit ihrer Gleichungen. Aber ist es tatsächlich das Regelmäßig-Einfache, wie etwa der Goldene Schnitt, die absolute Symmetrie, was Ästhetik ausmacht? Man darf dies bezweifeln, denn alle Objekte der Natur sind in Wirklichkeit zeitlich und räumlich instabil; sie lassen sich fraktal zerlegen, wie es die Mandelbrot-Bäumchen zeigen. Theorien der Morphogenese (Bertalanffy, Thom, Mandelbrot, u.a.) nehmen qualitative Muster, wie sie sich unserem Auge, also auf der Mesoebene zeigen, wieder ernst. Muster auf Schneckenschalen faszinieren uns mit ihrer Durchdringung von geometrischer Regularität *und* ihren Symmetriebrüchen. Ein zugrunde liegendes Aktivator-Inhibitor-Wachstumsmodell, das Alfred Gierer und Hans Meinhardt in Tübingen entwickelt haben, kann diese Muster in der Simulation zwar detailgenau nachbilden, lässt dabei aber – weil die Prozesse immer parameterabhängig, rückgekoppelt und somit instabil sind - die je agierenden Wirkmoleküle im Dunkeln. Wie schon bei Goethe, sieht man „die Welt (wieder) mit anderen Augen" und lässt den Computer spielen. Nicht der Genotyp, sondern der Phänotyp wird wieder zu einem wesentlichen Objekt der Naturbeschreibung, von der quantitativ-reduktiven Biologie kommt man (wieder) zur qualitativen Naturerkenntnis.

Naturwissenschaftler beschäftigen sich wieder mit Schönheit. Der Biochemiker Friedrich Cramer (1995) begreift sie als „den offenen Moment des Übergangs", ästhetisches Begreifen sieht er als einen dynamischen Prozess. Naturformen sind für ihn „...gleichsam stehengebliebene, in Wahrheit jedoch meist fortschreitende Prozesse, die mit dem Prozess korrelieren, in dem der Betrachter selbst begriffen ist". Nicht nur die Vergänglichkeit, auch die unauflösliche Teilnahme des Menschen bei seiner Naturbetrachtung wird angesprochen, was Meyer-Abich (1997) als „Mitsein des Menschen in der Natur" naturphilosophisch beschäftigt, ein Blickpunkt, von dem sich die klassische Naturwissenschaft in eine Außenposition entfernt hatte. JCS versetzt uns mit seinem Buch über die *nachmoderne Naturwissenschaft* wieder in eine lebensweltliche Innenansicht. Der springende Punkt ist immer wieder, dass nicht mehr das Vollendete, sondern gerade das Unvollendete, das Unregelmäßige, das Unscharfe, das Vergängliche, Fragile in den Vordergrund gerückt wird. Welch völlig andere Natursicht tut sich hier auf gegenüber den regelmäßigen, symmetrischen Naturformen, wie Haeckel sie gesehen haben mag (weil er sie *so sehen wollte*). Die Einbeziehung von Instabilitäten in unsere Naturbetrachtung bringt tatsächlich etwas Nichtreduktionistisches, daher auch wieder Metaphysisches mit sich. Was aber beileibe nicht als Rückschritt gesehen werden muß, solange man sich genau darüber immer im Klaren bleibt! (i.Ü. sind reduktionistische Haltungen selbst meist von metaphysischen Überzeugungen getragen, siehe die o.g. Leib-Seele-Diskussionen). Diese nachmoderne Wissenschaft will die klassische Naturwissenschaft nicht über den Haufen werfen, aber sie erscheint als eine notwendige Ergänzung und Erweiterung, die uns von einer - durch einen strengen Reduktionismus erzeugte - fragmentierten Sicht der Natur wieder auf eine Gesamtsicht zuführen kann.

Die besten Bücher sind für einen wohl immer die, die man selbst schon gerne geschrieben hätte. Als mir als Biologe das Buch vom Verlag zugeschickt wurde, habe ich es gründlich und dabei oft kopfnickend durchgeackert, denn es betrifft – ohne diesen

Punkt eingehend zu thematisieren – auch und gerade die Umbruchsituation, in der sich die heutige molekulargenetische, und damit schlussendlich die gesamte Biologie befindet. Eine Situation, in der man sich – endlich und gottseidank - vom lange absolut gültigen Gendeterminismus weg, hin zu einer wieder mehr systemischen Biologie bewegt. Obwohl die Themen *Selbstorganisation* und *nichtlineare Dynamik* schon seit den sechziger Jahren mehr und mehr publik wurden, könnte das Buch gerade Biologen zu einem etwas offeneren, weniger deterministischen Blick auf die Natur verhelfen. Es ist auch deshalb zu empfehlen, weil es für Nichtphilosophen noch gut leserlich ist. Der Umfang von etwa 300 Seiten mit seinen elf Kapiteln ist überschaubar, wenn auch einige Kapitel verkürzt, andere zusammengelegt, oder anders hätten gereiht werden können. Insgesamt ein höchst lesenswertes Werk, das ein immenses Pensum philosophischen Denkens und seiner Geschichte, zusammen mit Erkenntnistheorie und Wissenschaftshistorie aus ungewohntem Blickwinkel zu einer neuen Gesamtschau vereint.

Literaturangaben.

Boltzmann, L., 1898. Vorlesungen über Gastheorie, 2. Teil; Leipzig.
Cramer, F., 1995: Gratwanderung. Das Chaos der Künste und die Ordnung der Zeit; Frankfurt.
Haeckel, E. (1904, 1998). Kunstformen der Natur. Neudruck der Erstausgabe (1998), Leipzig, Wien, Bibliogr. Inst. (in Faks.-Qualität), ISBN 3-7913-1979-5.
Haken, H., 1995: Erfolgsgeheimnisse der Natur. Synergetik. Die Lehre vom Zusammenwirken; Reinbek.
Hume, D., 1990: An Enquiry Concerning Human Understanding (1748); Oxford.
Laplace, P. S., 1932: Philosophischer Versuch über die Wahrscheinlichkeit (Hg. v. R. v. Mises); Leipzig, (urspr. franz. 1832, Paris).
Mach, E., 1917: Erkenntnis und Irrtum. Skizzen zur Psychologie der Forschung (1905); Leipzig.
Meinhardt, H., (2009). The Algorithmic Beauty of Sea Shells; Springer.
Meyer-Abich, K. M., 1997: Praktische Naturphilosophie; München.
Nietzsche, F. 1930: Die fröhliche Wissenschaft (1882/1887); Leipzig.
Portmann, A., 1955: Aufbau eines neuen Erlebens der Natur. Biologie auf zwei Fronten; in: Stuttgarter Zeitung, 31.12.1955, 35.
Prigogine, I., 1995: Die Gesetze des Chaos; Frankfurt.
Russell, F., 1951: Mysticism and Logic. And Other Essays (1917); London/New York.
Whitehead, A. N., 1974: Die Funktion der Vernunft (1929); Stuttgart.
Weizsäcker, C. F. v., 1958: Die Geschichte der Natur. Zwölf Vorlesungen (1948); Göttingen.