

Naturwissenschaft war immer die Kunst, das Komplizierte zu vereinfachen, und oft ist sie höchst erfolgreich gewesen; aber es gibt komplizierte Systeme, die durch Unterteilung nicht vereinfacht werden können, und das schwierigste, das am wenigsten reduzierbare System ist wahrscheinlich das Leben selbst (Erwin Chargaff, 1989).

Inhaltsverzeichnis

2.1 Der Lebensbegriff und die Biologie 11

2.2 Die animistische Weltansicht 14

2.3 Die Entdeckung des Organischen: ARISTOTELES 15

2.4 Der kartesianische Schnitt und seine Folgen 17

2.5 Lebendiges ist allgegenwärtig 21

2.6 Omne vivum e vivo 23

2.7 Das teleologische Denken 25

2.8 Das Faktum des Zweckmäßigen 29

2.9 Der Ursprung des Zweckmäßigen 33

2.10 Die Teleonomie und Zielgerichtetheit 35

2.11 Die Frage nach dem „Wozu“ 37

2.12 Teleonomie und Kybernetik 39

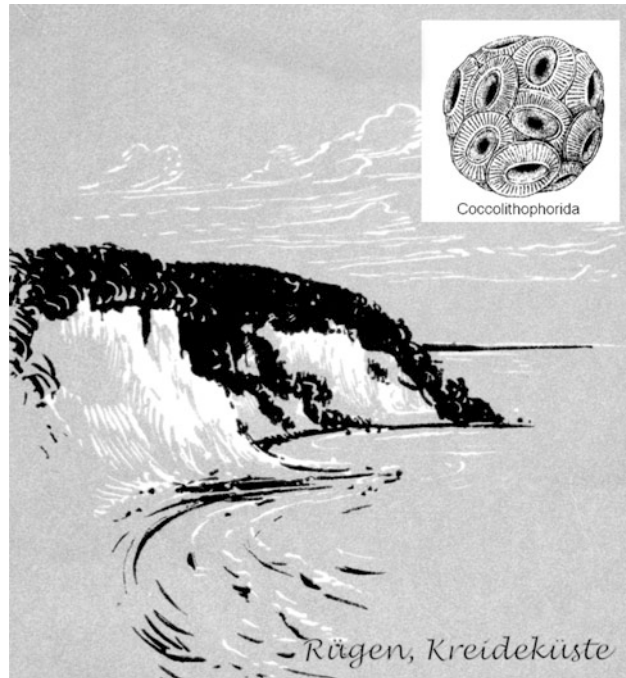
2.13 Der ontologische Reduktionismus (Physikalismus) 42

2.14 Die Konzepte einer Lebenskraft (Vitalismus) 50

Literatur 53

„Leben“ tritt uns auf der Erde ausschließlich in Form lebendiger Wesen entgegen, die wir kurz als **Lebe-Wesen** bezeichnen. Jedes Lebewesen existiert als einmalige, einzigartige, raum-zeitlich begrenzte Entität mit – in der Regel – einem Beginn und einem Ende. Es gibt kein „Leben“ außerhalb und unabhängig vom Lebewesen.

Abb. 2.1 Die Kreideküste Rügens mit bis zu 120 m hohen, 68–70 Mio. Jahre alten Steilufern. Die Kreidesedimente aus der oberen Kreideformation bestehen – neben vielen anderen Formen, wie Bryozoen, Kalkschwämmen, Foraminiferen etc. – hauptsächlich aus den Schalenschuppen der Coccolithophoriden



Jedes Lebewesen repräsentiert ein dynamisches System mit einer internen funktionellen (teleonomen) und ganzheitsorientierten Ordnung, die man in Anlehnung an die ursprüngliche Bedeutung des griechischen Worts *organon* als **Organisation** (s. Abschn. 7.6) bezeichnet. Kurz gefasst sind Lebewesen organisierte Systeme, die ihre interne Organisation *selbsttätig* aufrechterhalten und vermehren – also selbstorganisierend sind. Man bezeichnet die Lebewesen deshalb auch mit Recht als **Organismen**. Die Organisation lebendiger Systeme ist weder das Produkt des „Lebens“, noch eine Eigenschaft neben anderen, sondern das Leben, der lebendige Zustand, selbst. Letztes Ziel einer „Theoretischen Biologie“ kann deshalb nur darin bestehen, diese Organisation in ihrer Eigendynamik und Spezifik richtig zu erklären und in ihrem Wesen zu verstehen.

Auf der Erde hat sich das Leben früh entwickelt. Das Alter unseres Sonnensystems wird von den Kosmologen mit etwa 4,6 Mrd. Jahren (4,6 Ga) angegeben. Die **ältesten Lebensspuren**, die bisher bekannt geworden sind, haben ein Alter von 3,85 Ga. Das bedeutet, dass unsere Erde vielleicht nur knapp 800 Mio. Jahre, das wären etwa 17 % ihrer bisherigen Geschichte, unbewohnt geblieben ist, was darauf hindeutet, dass beim Ursprung des Lebens die Rolle des Zufalls gegenüber der der Notwendigkeit nicht extrem hoch gewesen sein kann.

Heute wird das Oberflächenbild unserer Erde vom Leben geprägt. Leben ist nahezu allgegenwärtig und hat in der langen Erdgeschichte unsere Atmosphäre mit Sauerstoff angereichert und riesige Sedimentschichten aufgetürmt. Die 68–70 Mio. Jahre alte Schreibkreide Rügens ist nahezu rein biogen. Sie besteht zum größten Teil (etwa 75 %) aus den

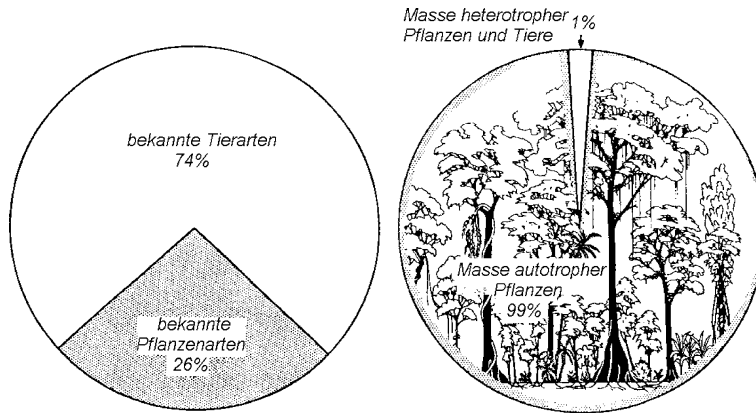


Abb. 2.2 Die Biomasse der grünen Pflanzen im Verhältnis zur Biomasse der heterotrophen Pflanzen und Tiere auf unserer Erde

nur wenige Mikrometer großen Kalkscheibchen (Coccolithen), die einst die Oberfläche pelagisch lebender, einzelliger, photosynthetisierender Kalkalgen von nur 25 µm Größe (Coccolithophoriden) bedeckten (Abb. 2.1).

Die **Biomasse** der Biosphäre wird heute auf $1,85 \cdot 10^{12}$ t geschätzt. Davon macht die autotrophe Phytomasse etwa 99 % aus (Abb. 2.2). Den Rest bilden die heterotrophen Pflanzen, Pilze und Tiere. Auf die tierischen Organismen entfallen nur etwas mehr als 0,1 %. Dabei bleiben die Mikroorganismen allerdings noch weitgehend unberücksichtigt. Nach neueren Schätzungen anhand des in der Biomasse gebundenen Kohlenstoffs (Schleifer und Horn 2000, S. 1–6) machen die Mikroorganismen mehr als die Hälfte der auf der Erde vorhandenen Biomasse aus. Die Anzahl der auf der Erde vorkommenden Prokaryoten wird insgesamt auf $4\text{--}6 \cdot 10^{30}$ geschätzt. Der größte Teil (90–95 %) von ihnen befindet sich im Sediment (Inagaki et al. 2006, S. 2815–2820).

2.1 Der Lebensbegriff und die Biologie

Der Begriff „**Leben**“ wird in unserer Umgangssprache mit unterschiedlichem Inhalt verwendet:

1. Wenn Zeitungen darüber berichten, dass der Verunglückte „mit dem Leben davon-gekommen“ sei, oder, dass eine Mutter gesunden Zwillingen „das Leben geschenkt“ habe, bezeichnet man mit „Leben“ den *Zustand* des Lebendigseins.
2. Wenn Joseph VON EICHENDORFF „Aus dem Leben eines Taugenichts“ oder Karl VON FRISCH „Aus dem Leben der Bienen“ (Frisch 1941) berichtet, so betrifft der Lebensbegriff die *Lebensumstände*.

3. Wenn vom „Leben im All“ oder vom „Leben des Weltmeeres“ (Hentschel 1929) die Rede ist, bezeichnet man mit „Leben“ die *ontologische Schicht* des Lebendigen im Kosmos bzw. im Meer.
4. Albert SCHWEITZER gebraucht in seiner Lehre von der „Ehrfurcht vor dem Leben“ den Lebensbegriff synonym zur „*Schöpfung Gottes*“.
5. Friedrich NIETZSCHE schließlich verwendet in seiner These „Leben ist Wille zur Macht“ den Lebensbegriff im Sinn eines allgemeinen *Lebensprinzips*.

Aus biologischer Sicht ist der Lebensbegriff insofern problematisch, weil es gar keinen Gegenstand „Leben“ gibt, den wir isolieren und zum Objekt unserer Untersuchungen machen könnten. „Leben“ tritt uns ausschließlich als das **Lebendige** diskreter Wesenheiten, der Organismen, entgegen. Außerhalb der Organismen und unabhängig von ihnen gibt es kein Leben. Deshalb ist die Biologie auch nicht, wie in direkter Übersetzung des Begriffs oft gesagt wird, die „Wissenschaft vom Leben“, sondern die „Wissenschaft von den lebendigen Naturgegenständen“ in allen ihren Aspekten. Die in Büchern und Artikeln oft gestellte Frage „Was ist Leben?“ ist im strengen Sinn gar nicht beantwortbar, weil es kein Objekt „Leben“ gibt. Sie müsste eigentlich lauten: „Was ist das Wesen des Lebendigen?“

Hintergrundinformationen

Der Lebensbegriff in der Biologie deckt sich eher mit dem Begriff *zōē* bei ARISTOTELES, als mit dem Begriff *bios*, mit dem ARISTOTELES artspezifische Lebensweisen kennzeichnete (Höffe 2005). Der dritte Lebensbegriff in der Antike, der der *psychē* – oft, aber unzutreffend, als „Seele“ übersetzt – wird von ARISTOTELES nicht im Sinn eines Körper-Seele-Dualismus benutzt. Mit ihm bezeichnete er vielmehr das allen Lebewesen gleichermaßen eigene „Prinzip“ oder „Wesen“, durch das sie sich in ihrer Einheit von Körper und Seele von allem rein Materiellen unterscheiden.

Die **Biologie** als Wissenschaftsdisziplin in modernem Sinn tauchte begrifflich erst zwischen 1797 und 1805 bei verschiedenen Autoren gleichzeitig und unabhängig voneinander mit jeweils unterschiedlicher Inhaltsgebung auf (Jahn 2000, S. 274–301). Man begann damit, hinter der Diversität der Organismen das Gemeinsame zu suchen, mit dem Ziel, das Lebendige in seiner Einheit und Spezifik und in seiner Wesensverschiedenheit zu allem Nichtlebendigen zu erfassen. Hatte man im 18. Jahrhundert noch alle Objekte der „drei Naturreiche“ von den Erdarten und Mineralien über die Pflanzen und Tiere bis zum Menschen als „Krönung der Schöpfung“ in linearer, lückenloser Folge abgestufter Vollkommenheit anzuordnen versucht (*Scala naturae*, Abb. 2.3), so trat jetzt das Einigende *alles* Organischen und das Trennende des Organischen gegenüber dem Anorganischen stärker in den Fokus. Es gab nicht mehr drei, sondern nur noch zwei Naturreiche, die anorganischen, nichtlebendigen und unbeseelten Entitäten auf der einen und die organischen, lebendigen, stoffwechselnden und sich reproduzierenden auf der anderen Seite. Charles DARWIN war auch hier voll auf der Höhe seiner Zeit, wenn er betonte, dass „alle lebenden Wesen sehr vieles gemeinsam in ihrer chemischen Zusammensetzung, ihrem Zellenbau,

IDÉE D'UNE ÉCHELLE
DES ÊTRES NATURELS.

L'HOMME.	PLANTES.
Orang-Outang.	Lychens.
Singe.	Mouffettes.
QUADRUPÈDES.	Champignons, Agarics.
Ecurcul volant.	Truffes.
Chauvefouris.	Coraux & Coralloïdes.
Auruche.	Lithophytes.
OISEAUX.	Amianthe.
Oiseaux aquatiques.	Talcs, Gyps, Sélénites.
Oiseaux amphibies.	Ardoises.
Poissons volans.	PIERRES.
POISSONS.	Pierres figurées.
Poissons rampans.	CrySTALLATIONS.
Anguilles.	SELS.
Serpens d'eau.	Vitriols.
SERPENS.	METAUX.
Limaces.	DEMI-METAUX.
Limaçons.	SOUFRES.
COQUILLAGES.	Bitumes.
Vers à tuyau.	TERRES.
Teignes.	
INSECTES.	
Gallinsectes.	
Tenia, ou Solitaire.	
Polypes.	
Orties de Mer.	
Sensitive.	
PLANTES.	

TRAITE'
D'INSECTOLOGIE;
OU
OBSERVATIONS
SUR LES
PUCERONS.

Par M. CHARLES BONNET, de la Société Royale
de Londres, & Correspondant de l'Académie
Royale des Sciences de Paris.

PREMIERE PARTIE.

A PARIS,
Chez DURAND, Libraire, rue Saint Jacques, à
S. Landry & au Griffon.

M. DCC. XLV.
Avec Approbation & Privilège du Roy.



Ch. de Bonnet 1786

Abb. 2.3 Charles Bonnets Anordnung der Naturobjekte von den Gesteinen über die Pflanzen und Tiere zum Menschen in Form einer geradlinigen und lückenlosen Folge abgestufter Vollkommenheit: *Scala naturae*. (Aus seinen „Insektenstudien“, J. J. Gebauer, Halle 1773)

ihren Wachstumsgesetzen und ihrer Empfindlichkeit gegen schädliche Einflüsse“ besitzen (Darwin 1980, S. 533).

Populär wurde der Begriff der Biologie erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, woran die Philosophen Auguste COMTE und Herbert SPENCER sowie der Biologe Thomas Henry HUXLEY wesentlichen Anteil hatten. Zur Kennzeichnung dieses generalisierenden Aspekts innerhalb der Biologie setzte sich die Bezeichnung „**Allgemeine Biologie**“ (Laubichler 2006, S. 185–206) durch, als deren Begründer Oscar HERTWIG neben anderen gelten kann. Die Biologie begann langsam, sich aus ihrer jahrhundertelangen Bevormundung durch die Physik zu befreien, und die ihr zustehende Rolle als eigenständige naturwissenschaftliche Disziplin mit eigener Terminologie, Methodik und Gesetzlichkeit selbstbewusst wahrzunehmen.

2.2 Die animistische Weltsicht

Unseren frühen Vorfahren war das allgegenwärtige und ihnen in vielfacher Hinsicht ähnelnde Lebendige in seinem ständigen Werden und Vergehen wesentlich vertrauter als die bedrohliche Welt „da draußen“ mit ihren reißenden Bächen und Flüssen, Stürmen und Gewittern, Regen und Hagel, mit ihrer Kälte und Hitze. Diese unberechenbaren Naturereignisse dachte man sich in Analogie zum eigenen Wollen und Handeln als von menschenähnlichen und unsichtbaren Göttern oder Dämonen gesteuert und getrieben, um deren Wohlwollen man sich mit allen zur Verfügung stehenden Mitteln bemühen musste.

Die Welt wurde anthropomorph als beseelt gedeutet. Nicht nur sie selber, auch die Pflanzen und Tiere, sogar die Steine, Werkzeuge und Waffen ihrer Umgebung wurden als beseelt angesehen. Unsere frühen Vorfahren hatten Furcht vor all diesen Dingen. Sie „verspürten das *Tremendum* vor dem *Fasinosum*, denn das *Fasinosum* setzt eine gewisse Sicherheit beim Individuum voraus, die es ihm gestattet zu reflektieren“, schrieb der Theologe Frederic SPIEGELBERG (Spiegelberg 1977, S. 105). Im Rahmen dieser **animistischen Weltsicht** war es nicht die Erscheinung des Lebendigen, sondern die des Todes, die einer besonderen Erklärung bedurfte (Jonas 1973, S. 20). Er wurde nicht als ein unvermeidliches, natürliches Ereignis am Ende eines Lebens angesehen. Auch er konnte – in ihren Augen – nur das Werk eines bösen Geistes sein. Jeder Todesfall konnte in ihren Augen nur Mord bedeuten.

Auch die ionischen Naturphilosophen in Milet waren Animisten. Man bezeichnet sie als „**Hylozoisten**“ (*he hýle* = das Holz, der Stoff, die Materie; *he zōē* = das Leben). Ihr „Urstoff“ (*archē*) war gleichzeitig Materie, Kraft und Leben, also beseelt. Die Anziehungskraft des Magneten konnte für THALES nur dahingehend gedeutet werden, dass er eine Seele besitze. Die Auffassung, dass der Welt ein lebendiges Prinzip zugrunde liege, zieht sich, von Ausnahmen (DEMOKRIT u. a.) abgesehen, mehr oder weniger vordergründig durch die gesamte griechische Philosophie bis in die Neuzeit hinein. Noch Johannes KEPLER gestand in seinem vor nun 400 Jahren erschienenen Hauptwerk, dass er früher

geglaubt habe, „dass die Kraft, die die Planeten bewege, wirklich eine Seele ist“ (Kepler 1609).

Die animistische Weltsicht hat bis in unsere Tage nichts an ihrer Attraktivität verloren, stellt sie doch in angenehmer Weise ein inniges Band zwischen der Natur und dem Menschen her, während umgekehrt der Bruch mit ihr den Menschen in eine Abseitsposition der Kälte und Verlassenheit manövriert. Wie wäre es sonst zu erklären, dass die Philosophie Pierre TEILHARD DE CHARDINS im vergangenen Jahrhundert nochmals ein so breites Echo gefunden hat. Für diesen französischen Denker strebt die Welt aufgrund „eines innerlichen Prinzips [...] nach immer höheren psychischen Formen“ (Teilhard de Chardin 1983, S. 149; s. Abschn. 2.7).

2.3 Die Entdeckung des Organischen: Aristoteles

Das „Leben“ zu erklären, entstand erst dann als ein besonderes Anliegen der Wissenschaft, als das Phänomen nicht mehr als ein Attribut des Urstoffs „*Archē*“ wie bei den ionischen Naturphilosophen, nicht mehr als Teil einer allgemeinen Harmonie wie bei den Pythagoreern oder als Teil einer Weltordnung wie bei PLATON betrachtet wurde, sondern als ein spezifisches, eigenständiges Phänomen wie bei ARISTOTELES. Hier in der Betrachtung des Organischen „ist ARISTOTELES’ eigentliches Feld, in dem er seinen Zeitgenossen in vieler Hinsicht weit voraus war, hier setzen seine reichen Kenntnisse, seine scharfe Beobachtung, ja mitunter tiefe Einsicht, in Erstaunen“, wie Arthur SCHOPENHAUER es formulierte (Schopenhauer 1988, S. 400).

In ARISTOTELES’ Metaphysik existiert alles Seiende in der unzertrennbaren Einheit von „Stoff“ und der ihn bestimmenden „Form“ (*Eidos*, *Morphe*) als „Substanz“. Der Stoff ist lediglich „Potenzialität“ (Möglichkeit), die Form dagegen „Aktualität“ (Wirklichkeit). Es gibt keinen Stoff ohne Form, wie es keine Form ohne Stoff gibt. Erst das Zusammen von Stoff und Form bildet die *Unio substantialis*, die letztendlich wirkliche Wesenheit.

Alle Objekte unserer Welt lassen sich nach ARISTOTELES klar zwei Reichen zuordnen, dem „organischen“ und dem „unorganischen“: „Von den natürlichen Körpern haben die einen Leben, die anderen nicht“ (Aristoteles 1995, B 1.412a). Alles was lebt, was „das Prinzip der Bewegung und Ruhe in sich besitzt“ (Aristoteles 1995, B 1.412b) – Pflanzen, Tiere wie Menschen – hat nach ARISTOTELES **Seele**. Sie verhält sich zum Körper wie die „Form“ zum „Stoff“. Seele und Körper bilden eine *untrennbare* Einheit, das Lebewesen. Im Gegensatz zu seinem Lehrer PLATON ist die Seele bei ARISTOTELES keine selbständige Entität, die unabhängig vom Körper existieren kann, sondern Ursache und „gleichsam Prinzip der Lebewesen“ (Aristoteles 1995, A 1.402a). Sie ist die Wesensform und Vervollendung (*Entelecheia*) des natürlichen Körpers, der seiner Möglichkeit nach Leben besitzt. Damit ist die Seele die „erste Aktualität eines natürlichen, organischen Körpers“, „das wesensmäßige Sosein und der Begriff von einem natürlichen [...] Körper.“ (Aristoteles 1995, B 1.412b). Seele bedeutet bei ARISTOTELES Zweckzusammenhang, die Ganzheit des Körpers.

Man muss sich davor hüten, den Seelenbegriff ARISTOTELES' so zu interpretieren, wie wir es heute tun würden. Er wird von ihm in sehr naturwissenschaftlicher Weise zur Kennzeichnung des *Wesens* lebendiger Naturgegenstände benutzt. In dieser *Wesens*bestimmung übertrifft ARISTOTELES alles, was vorher über das Leben in seiner Integrität, Autonomie, Funktionalität und Teleonomie gedacht worden ist. Man bezeichnet ARISTOTELES deshalb gerne mit vollem Recht als den „Entdecker des Organischen“.

ARISTOTELES beschäftigte sich in seinem zoologischen Hauptwerk „*De partibus animalium*“ ausführlich mit den „Funktionen“ der einzelnen Organe und Gewebe, d. h. auch mit den „Zwecken“, die sie „im Dienste für das Ganze“ erfüllen. Bei diesen „teleologischen“ Betrachtungen und Erklärungen bezieht er sich, wie Wolfgang KULLMANN (Kullmann 1979, S. 1–72) überzeugend herausgearbeitet hat, immer auf die *einzelnen* Individuen. Niemals geht er darüber hinaus in der Weise, dass eine Art dazu da sei, anderen Arten als Futter zu dienen. Seine **Teleologie** bleibt eine *immanente*. Alles, was im Lebewesen ist, ist „um des Ganzen willen“ da, dient als „Werkzeug“ (*Organon*) dem Ganzen. Deshalb sagt er: „Es ist deutlich, [...] dass der Körper, irgendwie um der Seele willen ist und die Teile um der Funktion willen, zu denen ein jeder von Natur aus bestimmt ist“ (Aristoteles 1959).

Das *Telos* ist bei ARISTOTELES immanent und nicht von außen gesetzt. Auch hier stellt er sich gegen seinen Lehrer PLATON, für den die ganze Welt in einem teleologischen Zusammenhang existiert. Man findet bei ARISTOTELES keine Äußerungen, die im Sinn einer durchgängigen, letztlich göttlich bestimmten Zweckbestimmtheit innerhalb des Kosmos gedeutet werden könnten oder müssten. Den physikotheologischen Schluss von der Zweckmäßigkeit der Welt auf einen zwecksetzenden „Weltbaumeister“ (transzendente Teleologie), der in Thomas VON AQUIN, für den Gott „erster Bewegter“ und „Endzweck“, *causa efficiens* und *causa finales*, gleichzeitig ist, seinen hervorragendsten Vertreter fand, vermied er. Er sagt immer, worauf SCHOPENHAUER (Schopenhauer 1988, S. 399) aufmerksam machte, „die Natur schafft“ (*natura facit*), aber niemals „die Natur wird geschaffen“ (*natura facta est*).

Mit dieser Auffassung vom Lebendigen in seiner Spezifik als dynamische, teleonomisch orientierte und sich selbst erhaltende Ganzheiten kommt ARISTOTELES den modernen Auffassungen vom Lebendigen erstaunlich nahe. Nach Jacques MONOD verwirklichen alle Lebewesen in ihren Strukturen und Leistungen ein „teleonomisches Projekt“, das der Erhaltung des lebendigen Zustands dient (Monod 1975). Max DELBRÜCK sieht im *eidos* den „unbewegten Bewegter“ und vergleicht ihn mit der DNA, die gleichermaßen Form und Entwicklung schafft, ohne dabei selbst Veränderungen zu erfahren (Delbrück 1971, S. 50–55). Ernst MAYR interpretierte in Übereinstimmung mit Max DELBRÜCK *eidos* als „teleonomisches Prinzip, das in seinem Denken genau dasselbe leistete wie das genetische Programm des modernen Biologen“ (Mayr 1984, S. 73). Nach Ansicht von MORENO und UMERZ könnte man im DNA-Molekül die „Formursache“ im aristotelischen Sinn für die Proteine sehen, „weil deren spezifische Nucleotidsequenz die Idee oder Form der Proteine übermittele“ (Moreno und Umerz 2000, S. 99–117). Auch Ingrid CRAEMER-RUEGENBERG mutmaßt, dass ARISTOTELES bei seiner Theorie vom „Natur-

zweck“ bereits „so etwas wie ein Programm (im modernen Sinne) im Auge gehabt“ haben könnte (Craemer-Ruegenberg 1981, S. 17–29).

2.4 Der kartesianische Schnitt und seine Folgen

Die organisch-teleologische Weltauffassung ARISTOTELES' stand im krassen Gegensatz zur mechanistischen DEMOKRITS. Sie genoss weit über seinen Tod hinaus hohe Autorität. Seine Schriften gelangten im 12. und 13. Jahrhundert in lateinischen Übersetzungen über Spanien und Frankreich auch ins christliche Abendland, wo seine Gedanken durch Albertus MAGNUS und besonders durch Thomas von AQUIN im christlichen Sinn uminterpretiert wurden. Für THOMAS VON AQUIN stand fest, dass Wissen zwangsläufig zur Gotteserkenntnis führen müsse. Aber schon zu Lebzeiten dieses Gelehrten regte sich erster Zweifel an dieser Vision. In der Schule von Oxford, weniger in Paris, beschäftigten sich Männer wie Robert GROSSETESTE und Roger BACON intensiv mit der Mathematik und der Physik. Letzterer erkannte bereits die hervorragende Rolle der Mathematik als *porta et clavis scientiarum* und forderte die Einführung des Experiments. Die Wissenschaft müsse, so Roger BACON, dem praktischen Leben dienstbar gemacht werden. Er träumte von Apparaten, mit denen man sich fortbewegen, in die Lüfte erheben oder auf den Meeresboden absteigen könnte.

Der letzte große Versuch zur Bewahrung der Einheit der geistigen Welt des Abendlands, von Glauben und Wissen, von Theologie und Philosophie in ihrer Abhängigkeit von dem über alle Gegensätze liegenden Göttlichen durch Nikolaus von CUSANUS scheiterte. Dabei ist bemerkenswert, dass dieser große Theologe und Philosoph des Spätmittelalters mit starkem Interesse für die Mathematik und die Naturwissenschaften bereits 150 Jahre vor Francis BACON und Galileo GALILEI die große Bedeutung des Messens und Wägens für die Medizin (Puls, Atmung, Harnausscheidung) durchaus erkannt hatte.

Der definitive, insbesondere von der aufblühenden Naturforschung herbeigeführte Bruch mit der in der Scholastik vorherrschenden qualitativen, organisch-teleologisch orientierten Naturphilosophie des ARISTOTELES erfolgte im 17. Jahrhundert, das der englische Philosoph Alfred N. WHITEHEAD als „Jahrhundert der Genialität“ charakterisierte (Whitehead 1988). Das trifft auf Italien, Frankreich, Holland und England zu, weniger auf Deutschland, das unter dem Dreißigjährigen Krieg und seinen furchtbaren Folgen litt. Nicht mehr das scholastische Studium alter Quellen, der deduktive Rationalismus der Scholastik, sondern der lebendige „experimentelle Dialog“ mit der Natur, die Methode der induktiven Beweisführung, wurde zum Königsweg, Erkenntnisse über die Natur zu gewinnen. Nicht mehr im Klassifizieren, wie es ARISTOTELES gefordert hat, sondern im Messen sah man das vornehme Ziel der Wissenschaft. An die Stelle einer vornehmlich qualitativ-eidetisch, d. h. dem „Geschauten“ und dem „Wesen“ verhafteten Seinsbetrachtung trat eine quantitativ-mechanistische. Glauben und Wissen gingen seither getrennte Wege, wobei sich die Naturforscher nur langsam der Bevormundung durch die Kirche entziehen konnten.



René Descartes (1596-1650)
(nach Franz Hals 1648)

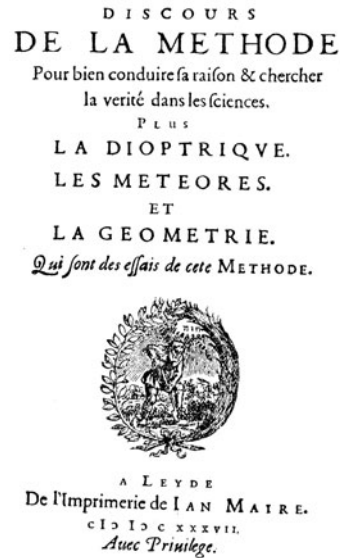


Abb. 2.4 René Descartes: Das Titelbild seines Hauptwerks „*Discours de la methode*“, Leiden 1637. Mit einem Anhang über die Theorie der Lichtbrechung („*La dioptrique*“), die Erklärung des Regengogens („*Météores*“) und die analytische Geometrie („*La géometrie*“)

Der einflussreichste Denker dieser Epoche war René DESCARTES (Abb. 2.4). Er war metaphysischer Dualist und trennte die Welt nicht mehr, wie bisher üblich, in eine unorganische und organische, sondern in die Welt der ausgedehnten Körper (*res extensa*) und die des Geistes und Denkens (*res cogitans*). Die Wissenschaft nahm sich fortan der objektiven Welt der Körper, die Philosophie der subjektiven Welt des „Denkens“ an. Durch diesen „**kartesianischen Schnitt**“ wurde der Wissenschaft erstmalig der Weg geebnet, ihre empirische Forschung zielstrebig zu verfolgen, ohne gleichzeitig über Gott und uns selbst reflektieren zu müssen.

DESCARTES' Naturphilosophie war nach DEMOKRIT wieder der erste große Versuch einer umfassenden, rein mechanischen Naturerklärung unter Ablehnung jeglicher Zweck-erklärungen. Darin liegt ihre große Bedeutung für die anorganischen Naturwissenschaften, deren alleiniger Gegenstand von nun an die materielle Wirklichkeit, alleiniges Ziel die mechanische, d. h. kausalanalytische Erklärung der in ihr ablaufenden Vorgänge war. Diese selbst auferlegte Beschränkung führte in der Folgezeit zu den beeindruckenden Fortschritten auf dem Gebiet der Physik und, in deren Gefolge, auch der Chemie und Physiologie, während die klassischen Disziplinen der Zoologie und der Botanik noch für lange Zeit weiterhin ihr Hauptziel im Sammeln, Ordnen, Vergleichen und Beschreiben der organischen Mannigfaltigkeit sahen.

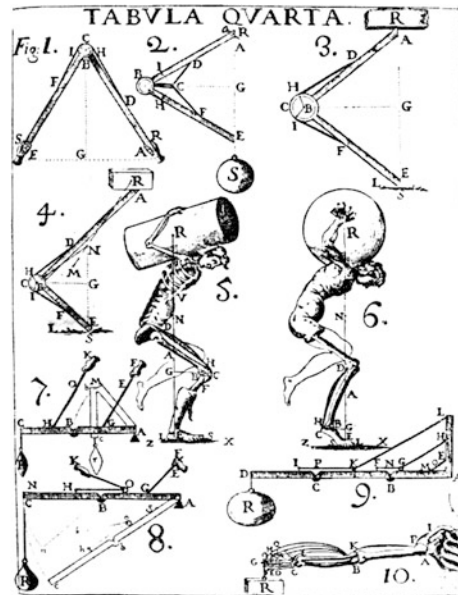
Die Biologie, die naturgemäß in beiden „Welten“ des DESCARTES' wurzelt, war in besonderer Weise vom „kartesianischen Schnitt“ betroffen und ist es bis heute geblieben. Das Organische, jeder einzelne Organismus – zumindest der höher organisierte! – wurde durch den kartesianischen Schnitt folgeschwer in zwei Hälften zerteilt, mit der einen beschäftigt sich fortan die Wissenschaft, mit der anderen die Philosophie. Das Nachdenken über das Seelische wurde aus der naturwissenschaftlichen Biologie verbannt, deren Gegenstand fortan nur noch die *res extensa* und deren Methode nur noch die empirisch-kausalanalytische zu sein hatte.

Die von GALILEI und KEPLER eingeleitete „Mechanisierung unseres Weltbilds“ erreichte mit Isaac NEWTONS *Principia* (1687) ihren ersten und – exakt hundert Jahre später – mit LAGRANGES *Mécanique Analytique* (1787) ihren zweiten Höhepunkt. Sie war deshalb so erfolgreich, weil sie in enger Verflechtung mit der Mathematik ablief. Während René DESCARTES, Girard DESARGUES und Blaise PASCAL die Geometrie weiterentwickelten, verdanken wir Isaac NEWTON und Gottfried Wilhelm LEIBNIZ die Begründung der Differenzialrechnung. Die mechanische Naturerklärung verhärtete sich in der Folgezeit zu einem wissenschaftlichen Dogma (Whitehead 1988). Die Erklärung der Welt und ihre Vorhersage im Rahmen von Bewegungen und Kräften galten als anzustrebendes Ziel *jeder* Wissenschaft und das Experiment als einzige Methode, dieses Ziel zu erreichen. Man sah in der Mechanik nicht nur das Paradigma für eine zukünftige Einheit der Physik, sondern für eine „universelle Ontologie“ (Weizsäcker 1984, S. 185).

Die **Newtonsche Mechanik** kannte nur vier Entitäten, nämlich Körper, Kräfte, Raum und Zeit, und nur eine Veränderung, die Bewegung als „Veränderung des absoluten Ortes in der absoluten Zeit“ (Weizsäcker 1984, S. 185 f.). Sie prägte fast zwei Jahrhunderte lang die Physik und ihre Teildisziplinen. Daran änderte sich auch dann noch nichts Grundsätzliches, als die Dynamik und Mechanik der „älteren“ Physik im 19. Jahrhundert durch Akustik, Optik, Wärmelehre, Elektrizitätslehre und Magnetismus erweitert wurde. Erste Schwierigkeiten entstanden erst im Zusammenhang mit der Entwicklung der Theorie elektromagnetischer Felder durch FARADAY und MAXWELL. Während für NEWTON die Gravitationskraft etwas Gegebenes war, das keiner weiteren Untersuchungen bedurfte, wurde jetzt das Kraftfeld in seinen zeitlichen und räumlichen Änderungen selbst zum Gegenstand weiterführender Untersuchungen (Heisenberg 1959, S. 82). Man versuchte, den aufgetretenen Schwierigkeiten zunächst mit der, wie wir heute wissen, irrigen Annahme eines deformierbaren und elastischen Mediums, das man als „Äther“ bezeichnete, zu begegnen. Die Unhaltbarkeit dieser Hypothese wurde erst durch die spezielle Relativitätstheorie zwingend nachgewiesen.

Die Physik in ihrer mathematischen Fundierung und inneren Stringenz wurde in Verbindung mit der Astronomie zur Leitwissenschaft schlechthin und löste darin die Philosophie ab. Immanuel KANT schwärmte davon, „dass in jeder besonderen Naturlehre nur so viel eigentliche Wissenschaft angetroffen werden könne, als darin Mathematik enthalten sei“ (Kant 1964, Bd. 5, S. 12, 14), gab allerdings völlig zu Recht auch schon zu bedenken, „dass wir die organisierten Wesen und deren innere Möglichkeit nach bloß mechanischen

Abb. 2.5 Eine Seite aus Giovanni Borellis Buch „*De motu animalum*“ (1680). Der Neapolitaner und Schüler Galileis nahm seinerzeit unter den sog. Iatromechanikern eine führende Position ein



Prinzipien der Natur nicht einmal zureichend kennenlernen, viel weniger uns erklären können“ (Kant 1790, § 75). Gegen den Trend, das mathematische Wissen zur einzigen Art des Wissens zu erheben, stellten sich nur wenige. Der erste war wahrscheinlich der Philosoph der französischen Frühaufklärung Pierre BAYLE.

Auch auf die **Physiologie** übte das Beispiel der klassischen Mechanik von Anbeginn eine starke Anziehungskraft aus (Abb. 2.5). Man ignorierte die Tatsache, dass der imponierende Siegeszug der Physik über die Jahrhunderte nur dadurch möglich geworden war, dass er mit einer tiefgreifenden Einengung des Gegenstands und der zulässigen Fragestellungen einherging (s. Abschn. 11.4), was der Erforschung der Lebensleistungen zwangsläufig enge Grenzen setzte. Dessen ungeachtet erhielt die Denk- und Arbeitsweise mathematisch-physikalisch orientierter Physiologen durch den Schulterschluss der Chemie mit der Physik im 19. Jahrhundert nochmals einen starken Impuls, auf dem von ihnen einmal eingeschlagenen, erfolgreichen Weg der experimentellen Analyse einzelner Kausalzusammenhänge und kurzer Kausalketten fortzuschreiten.

Hermann VON HELMHOLTZ, Emil DU BOIS-REYMOND, Ernst Wilhelm VON BRÜCKE und Carl LUDWIG schwebte in Parallele zur organischen Chemie eine noch zu entwickelnde „**organische Physik**“ vor. Fragen nach der ganzheitlichen Ordnung im Organischen, der durchgehenden funktionalen Zweckmäßigkeit und Kooperativität wurden gar nicht erst gestellt. Die Physiologie isolierte sich von der Biologie. Dennoch gab es auch andere Stimmen. Dem Begründer des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Arbeitsphysiologie in Berlin, Max RUBNER, war es beispielsweise „unverständlich, wie man in der Neuzeit immer wieder das Bestreben betont, das Lebende ausschließlich der Erscheinungsweise des Leblosen unterzuordnen und in dessen Formen zu zwingen. Wozu ist es notwendig,

in infinitum nach Parallelen aus dem Gebiet der unbelebten Natur zu suchen? Auch wer das Walten von Kraft und Stoff gelten lässt, darf in dem Lebenden eine Naturerscheinung für sich sehen“ (Rubner 1909, S. 170).

Spätestens mit der molekularbiologischen Revolution und der Begründung der Kybernetik, einer allgemeinen Systemtheorie und Informatik in der Mitte des vergangenen Jahrhunderts begann sich die Situation langsam zu ändern. Es traten Fragen der Integration, des zweckmäßigen Zusammenwirkens, der Steuerung und Regelung und des ganzheitlichen Verhaltens stärker in das Zentrum der Aufmerksamkeit und des wissenschaftlichen Interesses (Penzlin 2009, S. 233–243).

2.5 Lebendiges ist allgegenwärtig

Leben in seiner wunderbaren Vielfalt von Formen ist in einer dünnen Oberflächenschicht unseres Planeten Erde zum prägenden Element geworden. Dort gibt es nur wenige Orte, die frei von Leben geblieben sind. Die sog. **Biosphäre**, der Raum, in dem man auf unserer Erde Leben findet, umfasst die Hydrosphäre, die oberen Schichten der Lithosphäre sowie die unteren Schichten der Troposphäre unseres Erdballs. Sie reicht von 12 km Tiefe des Meeres bis zu Höhen von 9 km. In der Tiefe der Lithosphäre wird die steigende Temperatur, in der Höhe der Atmosphäre die Verdünnung der Luft und das Fehlen der die kurzwelligen Strahlen abschirmenden Ozonschicht zum lebensbegrenzenden Faktor.

Leben hat die tiefsten Gräben der Ozeane von etwa 11.000 m bei ständiger Finsternis, einem Druck von etwa 10^8 Pa und Temperaturen nur wenig über 0°C ebenso erobert wie die Höhen der Gebirge. Leben tritt uns auf den Gletschern der Hochgebirge und den polnahen Gewässern bei ständigen Temperaturen um oder unter dem Gefrierpunkt ebenso entgegen wie in Thermalquellen von mehr als 50°C oder in den Wüsten unseres Globus. Es fehlt nicht im Toten Meer, nicht in den Kläranlagen und auch nicht in den vulkanischen Schwefelquellen des Yellowstone-Parks. Ziehende Wildgänse sind noch in Höhen von 9500 m über dem Meeresspiegel beobachtet worden.

Die Entdeckung der „unsichtbaren Welt“ der **Mikroben** ist bis heute nicht abgeschlossen. Sie sind in unglaublicher Besiedlungsdichte allgegenwärtig. Unter einer Fläche von einem Quadratmeter fruchtbaren Bodens leben neben vielen anderen Organismen nicht weniger als $2,7 \cdot 10^{12}$ Bakterien. Jeder gesunde Mensch wird von 10^{14} bis 10^{15} Bakterien besiedelt; das ist das 10- bis 100-Fache seiner Körperzellen und mehr als das 10.000- bis 100.000-Fache der Erdbevölkerung, die gerade die 7-Milliarden-Grenze überschritten hat! Das Gewicht aller uns Menschen besiedelnden Mikroorganismen wird auf 2–3 kg geschätzt (Schumann 2011, S. 182–189). Auf viele dieser Bakterien können wir gar nicht verzichten.

Eine unerwartet reichhaltige Fauna mit vorher völlig unbekannten Arten (Krabben, Garnelen, Muscheln) fand man in der Nachbarschaft submariner „**schwarzer Raucher**“ (*black smoker*) auf dem ostpazifischen Rücken bei völliger Dunkelheit in 2600 m Tiefe. Unter diesen extremen Bedingungen existiert ein komplexes Ökosystem, dessen Primär-

produzenten chemosynthetische Bakterien sind, die die aus den heißen Quellen entweichenden Sulfide oxidieren (Laubier und Desbruyères 1985, S. 67–76; Dover 2000).

Im Jahr 2000 wurde ein zweiter Typ von Hydrothermalquellen, das „**Lost City-System**“, entdeckt, das für den Biologen noch interessanter ist, weil aus ihm nicht, wie beim schwarzen Raucher, sehr saures (pH 2–3) modifiziertes Meerwasser von bis zu 400 °C, sondern alkalisches (pH 9–11) mit einer Temperatur zwischen 40 und 90 °C sprudelt. Am Anfang der Nahrungskette des unter diesen Bedingungen gedeihenden Ökosystems stehen chemolithoautotrophe Mikroorganismen (s. Abschn. 6.1), die den dort reichlich austretenden molekularen Wasserstoff (H₂) als chemischen Energieträger nutzen können. Das Leben unter diesen extremen Bedingungen ist besonderes bei den Überlegungen zum Ursprung des Lebens auf unserer Erde auf großes Interesse gestoßen (Martin 2009, S. 166–174).

Manche Organismen, besonders unter den Prokaryoten, sind wahre „Überlebenskünstler“. Sie tolerieren extreme Lebensbedingungen, weshalb MARCELROY für sie den Begriff **Extremophile** eingeführt hat (Marcelroy 1974, S. 74–75). Einige Archaeobakterien, Cyanobakterien und die Grünalge *Dunaliella salina* überleben Perioden in gesättigter Kochsalzlösung. Verschiedene einzellige Eukaryoten leben bei pH-Werten unter 1, drei Pilze (*Acontium cylatium*, *Cephalosporium* sp., *Trichosporon cerebriae*) tolerieren sogar noch pH-Werte um 0 (Schleper et al. 1995, S. 741–742). *Ferroplasma acidarmanus* lebt in Bergwerksdränagen Kaliforniens in einem sauren (pH 0) Gebräu von Schwefelsäure mit einem hohen Gehalt an Kupfer, Arsen, Cadmium und Zink.

Die Vulkangebiete des Festlands und der Tiefsee weisen extrem hitzeliebende Bakterien und Archaeen auf (sog. **Hyperthermophile**), die bei Temperaturen zwischen 80 und 113 °C ihre optimalen Lebensbedingungen finden. Manche überlebten sogar Stunden im Autoklaven bei 121 °C. Tom BROCK isolierte ein Archaeobakterium (*Sulfolobus acidocaldarius*) aus einem Geysirbecken des Yellowstone-Parks mit einem durchschnittlichen pH-Wert von 3 und einer durchschnittlichen Temperatur von 80 °C (Rothschild und Mancinelli 2001, S. 1092–1101). Ein anderes, neu entdecktes Archaeobakterium (*Pyrolobus fumarii*), ein nitratreduzierender, chemolithotropher Organismus, wächst bei Temperaturen um 106 °C am besten, ist aber auch noch bis zu Temperaturen von 113 °C lebensfähig (Blochl et al. 1997, S. 14–21; Stetter 2006, S. 1837–1843). Diese hyperthermophilen Organismen zeigen einen äußerst anpassungsfähigen Energiestoffwechsel. Sie können aus Wasserstoffgas, Schwefel-, Eisen- und Stickstoffverbindungen, aber auch aus organischem Material ihre Energie gewinnen. Sie haben sich im universellen Stammbaum des Lebendigen (Abb. 4.20) sehr frühzeitig von den beiden Hauptlinien der Archaeen abgezweigt, sodass sie für die Evolution der Archaeen interessant sind. Die obere Temperaturgrenze, bei der Leben noch möglich ist, hängt von der Stabilität organischer Moleküle ab. Adenosintriphosphat beginnt bei 100 °C zu zerfallen, Aminosäuren allerdings erst bei 200 °C. Der Schmelzpunkt der DNA liegt umso höher, je mehr Guanin und Cytosin (drei Wasserstoffbrücken!) sie enthält.

2.6 *Omne vivum e vivo*

Unter den heutigen Bedingungen entsteht auf unserer Erde kein Lebewesen spontan aus Unbelebtem (sog. Urzeugung), sondern nimmt immer wieder seinen Ursprung aus Lebendigem: *omne vivum e vivo* (Lorenz OKEN; Oken 1805, S. 8). Das bedeutet, dass jeder heute lebende Organismus durch eine niemals unterbrochene Kette von Generationen mit dem Ursprung des Lebens auf unserer Erde verbunden sein muss. Es ist keine Ausnahme bekannt. Man kann in dieser zentralen Aussage mit all ihren Konsequenzen einen **Hauptsatz der Biologie** sehen, der unter den heute herrschenden Bedingungen überall gültig ist, vergleichbar mit den Hauptsätzen der Thermodynamik in der Physik. Diesen Gedanken äußerte bereits 1871 der englische Physiker William THOMSON (Lord Kelvin) in ähnlicher Weise. Er prophezeite, dass man nach den Versuchen PASTEURS die Unmöglichkeit einer Urzeugung irgendwann und irgendwo als ebenso feststehend wie das Gesetz der Schwerkraft wird ansehen müssen (Thomson 1871).

Die **Biologen** sind in der Frage eines solchen Hauptsatzes für die Biologie bis auf den heutigen Tag wesentlich zurückhaltender, weil sie mehrheitlich davon ausgehen, dass ein solcher Satz im Widerspruch zum Ursprung des irdischen Lebens vor 3,8 Ga auf unserer Erde stehen *müsse*. Das braucht aber nicht der Fall zu sein. Nach allem, was wir heute wissen (s. Abschn. 4.11–4.13), ist die Entstehung von Lebendigen aus Anorganischem unter den damaligen Bedingungen nicht in einem, sondern in vielen kleinen Schritten erfolgt und hat einen relativ langen Zeitraum in Anspruch genommen. Der Hauptsatz bringt lediglich zum Ausdruck, dass *unter den heute herrschenden Bedingungen* Leben *ausschließlich* wieder aus Lebendigem hervorgeht. Und das wahrscheinlich deshalb, weil die für ein ungestörtes Hervorbringen von Organischem aus Anorganischem notwendigen Bedingungen und erforderlichen Zeiträume heute nicht mehr zur Verfügung stehen. Man könnte im einfachsten Fall z. B. daran denken, dass heute unter der Allgegenwart des Lebendigen bereits die allerersten Vorstufen, sollten sie einmal entstanden sein, gleich wieder von Feinden „weggefressen“ werden würden.

Hintergrundinformationen

Dieser Hauptsatz der Biologie kann und darf nicht dahingehend missinterpretiert werden, dass am Ursprung des Lebendigen auf unserer Erde oder anderswo ein **Schöpfungsakt** gestanden haben muss. Das ist mit Sicherheit nicht der Fall gewesen. Ebenso darf die Gültigkeit dieses Hauptsatzes nicht als Beweis für die Existenz eines nur den Lebewesen zukommenden, nichtmateriellen „vitalen Prinzips“ (**Vitalismus**, s. Abschn. 2.14), das von Generation zu Generation weitergegeben wird, missbraucht werden.

Es hat sehr lange gedauert, bis sich diese Erkenntnis, dass alle Lebewesen ohne Ausnahme wieder von Lebewesen abstammen, dass es keine spontane Entstehung von Lebewesen, keine **Urzzeugung** gibt, gegen alle Widerstände generell durchgesetzt hat. Der italienische Arzt und Naturforscher Francesco REDI hatte bereits 1668 die weit verbreitete

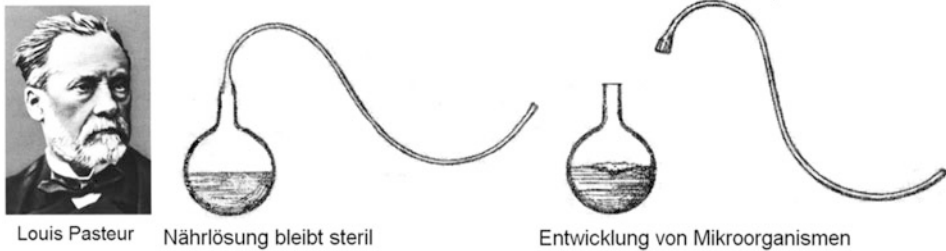


Abb. 2.6 Pasteurs berühmter Versuch (1861) zum Nachweis, dass es keine Urzeugung gibt. Nach Abkochen des Kolbeninhalts entwickelten sich trotz offener Verbindung zur Luft keine Mikroorganismen

Vorstellung, dass die Fliegenmaden spontan in verdorbenem Fleisch entstehen, durch Experimente als nicht haltbar gebrandmarkt. Trotzdem hielt man – insbesondere im Hinblick auf die neu entdeckten *animalcula infusoria* – weiterhin an der Annahme einer Urzeugung (*generatio spontanea*, LAMARCK 1801) fest (Corsi 1988). Es war Louis JOBLLOT, der 1711 als erster durch Abkochen eines Heuaufgusses und anschließendem luftdichten Abschluss des Gefäßes zeigen konnte, dass unter diesen Bedingungen die „Aufgusstierchen“ oder „Infusorien“, wie sie LEDERMÜLLER (1763) bezeichnet hatte, nicht auftraten.

Damit war der Streit um die Urzeugung aber immer noch nicht beigelegt. Die hartnäckigen Verteidiger einer Urzeugung argumentierten, dass die Luft für eine Urzeugung nötig sei und durch das Kochen in irgendeiner Weise verändert worden sei. Diesem Argument Rechnung tragend, erfand Louis PASTEUR die „Schwanenhalskolben“ (Abb. 2.6). Nach dem Abkochen des Kolbeninhalts entwickelten sich in ihm trotz erhaltener Luftverbindung über den „Schwanenhals“ nach außen keine Mikroorganismen, denn die „Keime“ blieben am untersten Punkt des Schwanenhalses zurück und konnten nicht bis in den Kolben vordringen. Noch drei Jahre später (1864) hielt es die französische Akademie der Wissenschaften für nötig, eine Kommission einzusetzen, die sich nochmals mit der Frage der Urzeugung befassen sollte, deren Beantwortung von so zentraler Bedeutung für die Biologie war.

Dieser Hauptsatz der Biologie hat noch einen anderen, sehr wichtigen Aspekt: Wenn „Leben“ immer wieder nur aus „Leben“ entsteht, heißt das mit anderen Worten, dass Anorganisches niemals durch ein besonderes „Agens“ lebendig gemacht werden kann. Der Satz wendet sich also auch gegen jene **dualistischen Weltansichten**, die von einer Zweiteilung von Geist und Materie, Leib und Seele ausgehen. Mit dem Tod soll die „Seele“ den Körper als Hauch aus dem Mund oder aus einer Wunde verlassen und ein mehr oder weniger selbständiges und unabhängiges Leben führen können (Abb. 2.7). Durch Einnistung dieser Seelen in Gegenstände sollen umgekehrt diese zum Leben erweckt werden können.

Hintergrundinformationen

Als Beispiel für diese Auffassung kann die **Seelenlehre** PLATONS herangezogen werden. Sie ist stark von der orphisch-pythagoreischen Mystik beeinflusst. Die Seele sei göttlichen Ursprungs, lehr-

Abb. 2.7 Mit dem Ableben eines christlichen Menschen entweicht seine Seele, um von Gott in die Ewigkeit aufgenommen zu werden. (Holzschnitt aus einer Bibel des 18. Jahrhunderts)



te dieser große Philosoph, und – wie bereits „in den Dionysischen Mysterien als Glaubenslehre und tröstliche Botschaft verkündet“ (Messer 1918, S. 57) – unsterblich. Leben auf Erden bedeute Vereinigung von Seele und Leib, Tod die Trennung beider. Im Körper sei die Seele gewissermaßen „Gefangener“, aus ihm könne sie nur durch den Tod wieder „befreit“ werden. Ihr weiteres Schicksal hänge dann von ihrem Verhalten in diesem Leben ab. Das wahre Ziel des Menschenlebens sei die „Reinigung“ der denkenden Seele.

Lebewesen verdanken ihr Lebendigsein nicht dem Wirken einer Seele oder eines anderen „Faktors“, der in ihnen wirkt. „Leben“ ist überhaupt nicht auf *einen* Faktor – sei er nun physischer oder psychischer Natur – zurückführbar. Es ist immer die **Leistung eines Systems** besonderer Art. Es ist, wie in diesem Buch weiter auszuführen sein wird, die Leistung *organisierter* Materie. Leben geht nicht der Organisation voraus, wie Herbert SPENCER vermutete, sondern *ist* Organisation.

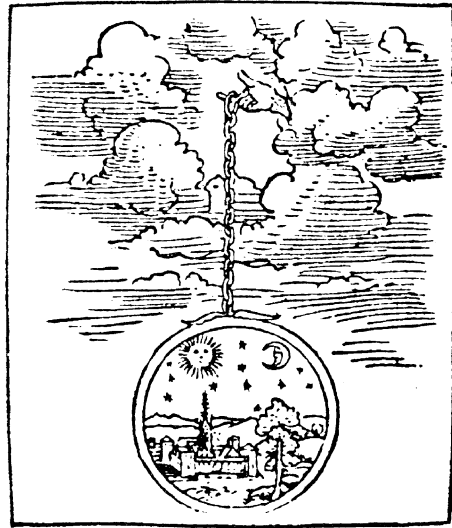
Jeder Organismus ist eine Singularität. Er existiert als selbständige Einheit und unterscheidet sich in spezifischer Weise von allem, was uns in der anorganischen Natur entgegentritt, und das nicht nur graduell aufgrund eines hohen Komplexitätsgrads, sondern prinzipiell. Lebewesen haben Eigenschaften und entwickeln Fähigkeiten, die einzigartig für sie sind, und nur für sie. Jeder Organismus verkörpert eine ganzheitlich agierende und reagierende, d. h. *organisierte* Einheit. Die einzelnen Vorgänge sind und werden in der Weise aufeinander abgestimmt, dass sie kooperativ im Sinn der Erhaltung des Gesamtsystems arbeiten.

2.7 Das teleologische Denken

Das teleologische Denken, das Denken in Zwecken und Zielen, die Interpretation der Naturgewalten als das von Absichten und Zielen geprägte Werk höherer „Mächte“ ist so alt wie das menschliche Denken überhaupt. Es zieht sich wie ein roter Faden durch die

Abb. 2.8 Sphärenbild, die Allmacht Gottes versinnbildlichend: „Alle irdischen Zwecke liegen in Gottes Hand“. (Aus *Prognostica* ab Jacobo Henrichmanno, o. O. 1508)

In manu Domini sunt omnes fines terre.



Geistesgeschichte bis in unsere Tage (Penzlin 1987, S 7–26). Der Philosoph Wolfgang STEGMÜLLER bezeichnete es einmal als einen „ebenso altehrwürdigen wie fast undurchdringlichen Urwald“ (Stegmüller 1969).

Zweckmäßiges kannte man nur als das Resultat geplanter, schöpferischer Tätigkeit. Ein zufälliges Entstehen von Zweckmäßigem aus Zwecklosem hielt man *a priori* für ausgeschlossen. So lag nichts näher, als in anthropomorphistischer Weise *alles* Geschehen in der Welt als das Werk „überirdischer“ Mächte, einer oder vieler Gottheiten zu betrachten, die uns eine gute Ernte oder ein gesundes Kind bescheren, aber auch mit Unwetter und Krankheit bestrafen können. Alles liegt in ihren Händen und in ihrem Ermessen (Abb. 2.8). So galt es, sich mit ihnen gut zu stellen und gegebenenfalls bei ihnen um Hilfe zu bitten. Der Mensch übertrug die ihm aus eigenem Erleben so vertrauten Fähigkeiten zum Denken und absichtlichen Handeln auf die über ihn waltenden Mächte, womit die ihn umgebende Welt etwas von ihrer Unberechenbarkeit und teilnahmslosen Kälte verlor und ihm insgesamt vertrauter, „menschlicher“ wurde.

PLATON entwickelte eine kosmische, **transzendente** (externe) **Teleologie**. Für ihn stand fest, dass Ordnung nur durch ein ordnendes Wesen zustande kommen könne, das er sich als lebendiges Prinzip (Weltseele, Gottheit) vorstellte. Da der Demiurg selber gut war und wollte, „dass alles ähnlich werde so sehr wie möglich ihm selbst“ (Platon 1942), entstand auf diese Weise ein wohlgeordneter, harmonischer und schöner Kosmos. Die Teleologie PLATONS fand in der älteren Stoa und später im Christentum ihren nachhaltigen Niederschlag. Die Welt wurde von den Vertretern der älteren Stoa durchgehend in Zweckzusammenhängen interpretiert. So seien, „abgesehen vom Weltall, alle übrigen Dinge für andere Zwecke entstanden. So die unterschiedlichen Früchte, welche die Erde hervorbringen, für die Tiere, die Tiere aber für den Menschen, das Pferd zum Reiten, der

Ochs zum Pflügen, der Hund zum Jagen und Wachhalten. Der Mensch selbst ist jedoch erschaffen, um das Weltall zu betrachten und nachzuahmen“ (zit. aus Chrysipps II 641 bei Cicero 1955, II. Buch 37). Für THOMAS VON AQUIN war – ganz in diesem Sinn – Gott „erster Bewegter“ und „Endzweck“, *causa efficiens* und *causa finalis* zugleich.

ARISTOTELES, Schüler PLATONS, folgte dem physikotheologischen Schluss seines Lehrers von der Ordnung in dieser Welt auf eine ordnende Entität nicht. Sein Standpunkt war nicht der einer transzendenten, sondern der einer internen oder **immanenten Teleologie** (s. Abschn. 2.3). Der Zweck wurde zu einem konstitutiven Prinzip erhoben (Gottshelf 1976, S. 226–254). Man verlegte die Wirkung, das Ziel, bereits als „Anlage“ in die Ursache, sodass das Bewirken kein Hervorbringen, sondern nur noch das „Entwickeln“ eines schon Vorbestehenden ist. Damit wird, wie Nicolai HARTMANN analysierte, die „Erklärung“ des Zweckmäßigen zur Tautologie: „Man erklärt die Wirkung aus der Vorwegnahme des Bewirkten“ (Hartmann 1966, S. 103).

In der **Neuzeit** erfuhr die transzendente Teleologie in der Metaphysik LEIBNIZ' eine Weiterentwicklung. In der Epoche der bürgerlichen Aufklärung machte das teleologische Denken, die „Lehre von der durchgängigen, geistig, ideell und letztlich göttlich bedingten Zweckbestimmtheit aller Bewegungen und Entwicklung in der Welt“ (Klaus und Buhr 1969, S. 1184), eine nochmalige Blütezeit durch, deren Exponent Christian WOLFF war. Immanuel KANT ließ den **physikotheologischen Schluss**, den der „große Führer der Aufklärung“ und Freigeist VOLTAIRE noch für „eine Wahrscheinlichkeit“ hielt, „die größter Gewissheit nahekommmt“ (Voltaire 1984, S. 140), „jedes Werk beweise einen Urheber“ (Voltaire 1981, Bd. 3, S. 295), nicht gelten. KANT schrieb: „Wenn man also für die Naturwissenschaft den Begriff von Gott hineinbringt, um die Zweckmäßigkeit in der Natur erklärlich zu machen, und hernach diese Zweckmäßigkeit wiederum braucht, um zu beweisen, dass ein Gott sei: so ist in keiner von beiden Wissenschaften innerer Bestand“ (Kant 1968, S. 68). Ebenso distanzierte sich KANT von der „konstitutiven“ Teleologie ARISTOTELES'. Die Teleologie als konstitutives Prinzip anzusehen würde bedeuten, „eine neue Kausalität in die Naturwissenschaft einführen, die wir doch nur von uns selbst entlehnen und anderen Wesen beilegen, ohne sie gleichwohl mit uns gleichartig annehmen zu wollen“.

KANT ließ die Teleologie nur als Beurteilungsweise gelten, die unserer Erfahrung als Richtschnur diene. „Das spekulative Interesse der Vernunft“, so führte er aus, „macht es notwendig, alle Anordnung in der Welt so anzusehen, *als ob* sie aus der Absicht einer allerhöchsten Vernunft entsprossen wäre“. Der Zweck ist bei KANT „Idee“, er ist nicht konstitutiv, sondern nur regulativ. Ernst HAECKEL (Haeckel 1900, S. 300) hat KANT in dieser Beziehung missinterpretiert als er ihm unterstellte, er habe „die verwickelten Erscheinungen in der organischen Natur“ mithilfe einer „zweckmäßig wirkenden Endursache“ erklären wollen, KANTS Teleologie also konstitutiv-erklärend und nicht regulativ-heuristisch aufgefasst. KANTS Verdienst besteht darin, zumindest die Möglichkeit aufgezeigt zu haben, dass Zweckmäßiges auch ohne einen Zwecksetzer bestehen könne. Er hat damit den Weg in eine neuzeitliche Philosophie des Organischen geebnet, aber leider nicht konsequent weiter verfolgt. Newtons Physik lag ihm wesentlich näher als die zeit-

genössische Biologie. Schon im auf KANT folgenden „deutschen Idealismus“ in seinem Bemühen, die Welt umfassend nicht nur in ihrem Dasein, sondern auch in ihrem Sosein, in ihrem Wert und Sinn zu begreifen, wurde der Zweck wieder zum konstitutiven, alles beherrschenden Prinzip in der Natur gemacht.

Im 19. Jahrhundert gewann die sog. natürliche Theologie oder **Naturtheologie** des Theologen William PALEY (Paley 1802) insbesondere in England – weniger in Deutschland und Frankreich – vorübergehend einen nicht unerheblichen Einfluss auf das naturwissenschaftliche Denken seiner Zeit. Sein 1802 veröffentlichtes Buch „*Natural Theology*“ erreichte bis 1820 bereits 20 Auflagen. Keinem Geringeren als Charles DARWIN selbst hat seine Logik „ebenso viel Freude wie Euklid“ bereitet. PALEY argumentierte mit ehrlicher Leidenschaftlichkeit und verfügte über ein fundiertes biologisches Wissen. Ein zentrales Argument für seinen teleologischen Gottesbeweis war, dass keiner, der eine Uhr finde, daran zweifeln werde, dass sie das Werk eines Uhrmachers sei (Uhrengleichnis). Ebenso käme man bei der Betrachtung eines komplizierten Organismus mit all seinen sehr zweckdienlichen Organen nicht um den Schluss herum, dass er das Werk eines Schöpfers sei. Dieses „*design argument*“ war ein wesentlicher Punkt in der Kritik an DARWIN durch die „viktorianischen“ Physiker, darunter so illustre Namen wie der Astronom John HERSCHEL, der Universalgelehrte William WHEWELL, der Physiker William THOMSON u. a. Das Prinzip Zufall hatte in der physikalischen Gesetzmäßigkeit keinen Platz. Das Organische war für die Physiker zum letzten Refugium für das Eingreifen göttlicher Macht in das Naturgeschehen geworden (Pulte 1995, S. 105–146).

Im Rahmen des im 19. Jahrhundert verbreiteten Fortschrittsglaubens und wissenschaftlichen Optimismus gingen verschiedene europäische Denker, darunter Henri BERGSON und Pierre TEILHARD DE CHARDIN in Frankreich, Herbert SPENCER in England sowie Karl MARX und Friedrich ENGELS in Deutschland, unter falscher Auslegung der Darwinischen Lehre davon aus, dass nicht nur im Organischen, sondern generell in der Natur *und* Gesellschaft ein **durchgängiges Prinzip der Höherentwicklung** vorherrsche. Herbert SPENCER sah beispielsweise in der Evolution das Walten eines teleologischen kosmischen Prinzips, das nicht nur das Organische, sondern auch das Anorganische beherrsche. Jedes Dasein, so SPENCER, sei Entwicklung. In der Evolution gehe die Materie unter „Integration“ und gleichzeitiger „Dissipation“ von Bewegung „von einer unbestimmten, inkohärenten Homogenität in eine bestimmte, kohärente Heterogenität“ über. Diese weit-schweifige physikalistische Interpretation der Evolution hatte, wie Ernst MAYR einmal zutreffend feststellte, mit Biologie aber so gar nichts mehr zu tun (Mayr 1984, S. 307)! SPENCERS Bedeutung für die Biologie muss heute sehr kritisch gesehen werden, und das nicht nur, weil er ein vehementer Verfechter der Vererbung erworbener Eigenschaften war. Er neigte zu weitreichenden abstrakten Schlüssen, die nur noch wenig mit der Realität zu tun hatten.

Hintergrundinformationen

Besondere Aufmerksamkeit hat in dieser Beziehung der **dialektische Materialismus** von MARX und ENGELS gefunden. MARX, der einerseits eine große Sympathie für DARWIN empfand, ihm

sogar sein „Kapital“ widmen wollte, musste auf der anderen Seite DARWIN kritisieren, weil sich für ihn eine „Höherentwicklung“ nicht „notwendig“ ergab, worin er DARWIN durchaus richtig interpretiert hatte. MARX konnte jedoch auf eine solche Notwendigkeit in der gesellschaftlichen Entwicklung im Sinn eines Fortschritts von der Urgesellschaft über den Feudalismus und Kapitalismus zum Sozialismus und Kommunismus nicht verzichten. Ging es doch darum, den „Sieg des Sozialismus“ als wissenschaftlich zwingend darzustellen. MARX übernahm die These von einer bevorzugten Richtung jeglicher Entwicklung vom „Niederen“ zum „Höheren“ von seinem akademischen Lehrer HEGEL. Diese These hatte im Rahmen des absoluten Idealismus, der Naturdialektik HEGELS eine gewisse logische Berechtigung, im Materialismus, der keinen „selbsttätigen Geist“ zulässt und keinen „Weltorganismus“ kennt, muss sie dagegen wie ein Fremdkörper wirken.

Im vergangenen Jahrhundert hat der französische Jesuitenpater und Paläontologe Pierre TEILHARD DE CHARDIN mit seiner teleologisch-evolutionistischen Weltansicht (s. Abschn. 4.10), in der er eine umfassende Synthese zwischen dem Christentum und den modernen wissenschaftlichen Erkenntnissen anstrebte, nochmals – allerdings nur vorübergehend – eine breite Aufmerksamkeit gefunden. Seine zentrale Botschaft war, dass es eine „bestimmte Orientierung und eine bevorzugte Achse der Evolution gibt“ (Teilhard de Chardin 1983, S. 141), die auf einem „**innerlichen Prinzip**“ (Teilhard de Chardin 1983, S. 149) beruhe. Nach ihm besteht die lebende Welt „in ihrem tiefsten Innern [...] aus Bewusstsein“ (Teilhard de Chardin 1983, S. 151). Evolution ist demzufolge für ihn „Aufstieg zum Bewusstsein“, das „am Ende in irgendeinem höchsten Bewusstsein“ gipfelt, eines „einzigen Brennpunktes“ als Krönung und Abschluss, den er mit Omega bezeichnete. Die Existenz des Lebens selbst hält er nicht für einen Zufall, sondern als etwas, „das überall vorhanden ist und [...] bereit, an jeder beliebigen Stelle im Kosmos [...] hervorzuzquellen“, vom Atom zur Zelle und von der Zelle bis zum denkenden Lebewesen. Dieser ungemein kühne, aus biologischer Sicht aber unhaltbare Entwurf, der von TEILHARD in missionarischer Form vorgetragen wird, besteht aus einer bunten Mischung aus Wahrem, Halbwahrem und Spekulativem, ohne dass das jeweils deutlich gemacht wird.

2.8 Das Faktum des Zweckmäßigen

Dem verbreiteten anthropomorphistisch-teleologischen Denken wurden in der Geschichte zweimal Ansätze des kausalen Denkens entgegengesetzt. Das erste Mal in der vorsokratischen Philosophie durch die mechanistische Welterklärung der Atomisten LEUKIPP und DEMOKRIT, für die die Natur ein einziger Kausalnexus war. Das zweite Mal im 17. Jahrhundert im Zusammenhang mit dem Aufblühen der modernen Naturwissenschaft und Technik und der damit verbundenen Einführung der quantitativ-mechanistischen Naturbetrachtung durch Galileo GALILEI und Pierre GASSENDI. Die Revolte der „neuen Wissenschaft“ in der Renaissance war zum großen Teil eine Auflehnung gegen ARISTOTELES, aber einen aus christlicher Perspektive durch Albertus MAGNUS, Thomas von AQUIN und andere interpretierten ARISTOTELES. Man verzichtete auf den Zweck als Mittel zur Erklärung und forderte eine Trennung des Zwecks von den Ursachen.



„Haftscheiben“
beim Wilden Wein



„Kanne“ der fleischfressenden
Pflanze *Nepenthes*



„Grabschaufel“ des
Maulwurfs (*Talpa*)

Abb. 2.9 Beispiele zweckmäßiger Anpassungen im Pflanzen- und Tierreich

Dieser Prozess der **Zweckverbannung** aus der Wissenschaft erfolgte nicht abrupt, selbst in der Physik nicht. Er setzte sich nur Schritt für Schritt gegen einen oft nicht unerheblichen Widerstand durch. Man trennte sich nur zögerlich vom „*horror vacui*“ und der „*lex continui*“. Am Ende wurde die kausale Erklärung zu der *einzigsten* Erklärungsform in der Physik, man fragte nur noch nach dem „Was“ oder „Wie“, aber nicht mehr nach dem „Warum“ und „Wozu“. In der Biologie war die Situation eine andere. Sie enthält bereits, wie der Philosoph Nicolai HARTMANN betonte, „in ihrem rein deskriptiv vorliegenden Problemgehalt das Faktum der Zweckmäßigkeit, welches sich weder schmälern noch wegdeuten“ lässt. Man kann deshalb in der Biologie – neben der kausalen Erklärung – auf teleologische Formulierungen und Erklärungen nicht völlig verzichten. Die biologischen Objekte und ihr Verhalten tragen – vom „einfachen“ Bakterium bis zum Menschen – deutlich den Stempel des Zweckmäßigen, was man nicht ernsthaft leugnen kann, obwohl es auch an solchen Versuchen in der Geschichte nicht gemangelt hat. Zweckmäßig können nicht nur Strukturen (Abb. 2.9), sondern auch Verhaltensweisen sein. So ist es beispielsweise außerordentlich zweckmäßig, dass wir bei der körperlichen Arbeit schwitzen, weil wir mit dem Schweiß bei seiner Verdunstung den entstandenen Wärmeüberschuss an die Umwelt abführen können.

Schon der Begriff des „Organischen“, der sich von „*to órganon*“, das Werkzeug, ableitet, deutet auf den Sachverhalt der **Funktionalität** hin, denn Werkzeuge werden mit der Absicht hergestellt, mit ihnen eine bestimmte Funktion durchzuführen, d. h. einen Zweck zu erfüllen. Nach KANT wird in einem Organismus „ein jeder Teil, so, wie er nur durch alle übrigen da ist, auch als um der anderen und des Ganzen willen existierend, d. i. als Werkzeug (Organ) gedacht“ (Kant 1790, A 288). Der große Charles BONNET schrieb 1769: „Es gibt in der Natur Zwecke (*fins*), welche die Vernunft nicht verkennen sollte. [...] Die Physiologie ist in gewisser Weise die Wissenschaft von den Zwecken. Man

braucht nur einen Blick auf die Bildung des Körpers und der Schwimmflossen der Fische zu werfen, um überwältigt zu sein von der wunderbaren Anpassung an das Element, welches diese Tiere bewohnen“ (Bonnet 1769).

Die Zweckmäßigkeit im Organischen ist oft von so hoher Vollkommenheit, dass Ingenieure frühzeitig – spätestens seit den Zeiten Leonardo DA VINCI – damit begonnen haben, die Vorbilder aus der Natur genauer zu studieren, um sie für ihre eigenen Zwecke zu nutzen. Der Schiffingenieur Sir Matthew BAKERS konstruierte um 1586 für die Flotte der Queen Elizabeth Galeonen, die leichter und manövrierfähiger waren als die spanischen Konkurrenten, indem er die Körperformen vom Dorsch und der Makrele nachzuahmen versuchte.

Heute ist die **Bionik** zu einem blühenden Wissenschaftszweig herangewachsen, in dem Techniker, Biologen und Biophysiker erfolgreich zusammenarbeiten. Die strömungsgünstige Körperform der Pinguine ist dabei ebenso interessant wie die Selbstreinigungseigenschaft der Delphinhaut. In der Flugzeugindustrie stehen schwungfederähnliche Flügelspitzen in der Erprobung. Den in den Korallenriffen und Lagunen tropischer Meere beheimateten Kofferrisch benutzten die Ingenieure des Mercedes-Benz Technology Centers und der Daimler-Chrysler-Forschung kürzlich als Vorbild bei der Konstruktion eines neuen Modells mit hervorragenden aerodynamischen Eigenschaften (Abb. 2.10). Man erreichte mit ihm einen Cw-Wert (dimensionsloser Koeffizient für den Strömungswiderstand) von 0,19. Zum Vergleich: Der Cw-Wert des Porsche 911 beträgt 0,3, der des Kofferrischs 0,06 und des Pinguins sogar 0,03.

Hat man die Lebewesen in ihrer Prozesshaftigkeit, nämlich in ihrem kontinuierlichen Verfall und Wiederaufbau, erst einmal richtig begriffen, so steht fest, dass die Zweckmäßigkeit nichts Akzidentelles, sondern zutiefst Immanentes für das „Leben“ sein muss, nichts dem Leben „Aufgepfropft“, sondern ein entscheidendes Merkmal des Lebens selbst ist. „Gehört [...] die Selbsterhaltung“ zum Begriff des Lebendigen, „so müssen auch die Mittel der Selbsterhaltung zu ihm gehören“, schrieb Nicolai HARTMANN (Hartmann 1912, S. 88). Selbsterhaltung setzt Zweckmäßigkeit der selbsterhaltenden, systemerhaltenden Prozesse voraus. Das Phänomen des Zweckmäßigen ist nicht ein Merkmal des Lebendigen unter anderen, es ist seine zentrale *conditio sine qua non* schlechthin. Ohne eine durchgängige Zweckmäßigkeit der Formen und Funktionen würde kein Lebewesen auf die Dauer existieren können. Es wäre früher oder später aus der weiteren Evolution ausgeschlossen worden. Für Nicolai HARTMANN besitzt die Zweckmäßigkeit deshalb den Rang einer Kategorie im Kantschen Sinn, einer ersten Voraussetzung alles Erklärens, die erst in der Daseinsschicht des Organischen als „Novum“ auftritt (s. Abschn. 11.2) und den nur physischen Körpern noch fehlt (Hartmann 1966, S. 23 ff., 103). Das bedeutet keineswegs, dass *alles*, was wir an Strukturen, Funktionen und Verhaltensweisen bei Lebewesen vorfinden, optimal ist. Im Gegenteil: man findet auch Unvollkommenes, weniger Zweckmäßiges, Nutzloses in der Natur vor, wofür Ernst HAECKEL den Begriff der „**Dysteleologien**“ eingeführt hat (Haeckel 1988; s. Abschn. 2.9).

Abb. 2.10 Der neue „Mercedes-Benz Bionic Car“ zeigt bei hoher Steifigkeit und Leichtigkeit hervorragende aerodynamische Eigenschaften. Sein Kraftstoffverbrauch wird mit 4,3 l/100km angegeben. Bei der Formgebung hat der Kofferrisch Pate gestanden. (Image.jpg; bionic-car.jpg)



In jedem Organismus erkennen wir nicht nur eine Hierarchie der Strukturen, sondern auch eine **Hierarchie der Zwecke** (Riedl 1981). So haben die Myofibrillen den Zweck, die Muskelzelle, diese den Muskel und dieser beispielsweise den Brustkorb zu bewegen, um für eine hinreichende Atmungsventilation zu sorgen. Der höchste und Endzweck aller Strukturen und Verrichtungen ist letztlich, die „Betriebsfähigkeit“ des Organismus aufrechtzuerhalten. Alle anderen Zwecke sind diesem untergeordnet. Der zentrale Zweck ist damit die Organisation des lebendigen Systems, also das „Leben“ selbst. Der Begriff der Organisation (s. Abschn. 7.6) – und hier schließe ich mich voll John VON NEUMANN (zit. bei Mayr 1991, S. 86) und vielen anderen an – schließt das Prinzip des Zweckmäßigen notwendig mit ein. Ohne das Prinzip des Zweckmäßigen ist „Leben“ nicht denkbar.

Der Begriff des Zweckmäßigen ist ein **Relationsbegriff**, Aussagen zur Zweckmäßigkeit sind Relationsaussagen. Keine Struktur, keine Handlung ist an sich bereits zweckmäßig, sondern nur in Bezug auf etwas anderes, nur in einem bestimmten Kontext. Es ist außerordentlich zweckmäßig, dass Bienen und andere Insekten im Flug einen bestimmten Winkel zur Sonneneinstrahlung beibehalten, denn nur so können sie ihren geradlinigen Kurs fortsetzen (Sonnenkompass-Orientierung). Es ist für die Tiere allerdings tödlich, wenn sie dasselbe Verhalten im radiären Lichtfeld einer Straßenlaterne beibehalten, weil

sie sich dann auf einer logarithmischen Spirale der heißen Lichtquelle nähern und schließlich verbrennen. Eine Struktur oder ein Verhalten kann erst dann als „zweckmäßig“ eingestuft werden, wenn wir wissen, wozu die Struktur oder das Verhalten „dient“ oder dienen könnte. Daraus allerdings ableiten zu wollen, dass „das Urteil über die Zweckmäßigkeit [...] vollständig vom metaphysischen Standpunkt des Beurteilers“ abhängt, „und zwar bezüglich aller biologischen Leistungen, auch der Regelvorgänge“, wie es der Physiologe H. SCHAEFER versucht hat (Schaefer 1964, S. 101–103), ist nicht zutreffend. Man kann völlig objektiv ohne Metaphysik beurteilen, dass die Anlage eines subkutanen Fettgewebes bei den Meeressäugern dem Zweck dient, den Körper thermisch zu isolieren.

Der Relationsbegriff Zweckmäßigkeit ist nicht irrelevant in Bezug auf die Richtung der Beziehung. Es ist eine sinnvolle Aussage, wenn man feststellt, dass das Auge der Tiefseefische in mehrfacher Hinsicht sehr zweckmäßig an die geringen Lichtintensitäten ihres Lebensraums angepasst ist. Es wäre aber wenig sinnvoll zu sagen, dass das Licht in seiner Zusammensetzung und Intensität an die Augen der Tiefseefische angepasst sei. Nicht die Lebensverhältnisse sind zweckmäßig für die Existenz von Leben, sondern das Lebendige hat sich diesen Bedingungen im Verlauf der Evolution in zweckmäßiger Weise angepasst.

2.9 Der Ursprung des Zweckmäßigen

Die Akzeptanz des Faktums von Zweckmäßigem im Organischen bedeutet keineswegs bereits dessen Erklärung, sondern bedarf erst einer Erklärung. Das Faktum *ist* das Problem. Es ist kein konstitutives, sondern – wie oben bereits betont – lediglich ein heuristisches, regulatives Prinzip, das uns neue Fragestellungen eröffnet und Hinweise gibt, die nur im Rahmen der Forschung verfolgt und beantwortet werden können.

Die Erklärung des Zweckmäßigen musste solange spekulativ bleiben, bis man lernte, dass das Organische etwas, in einer langen Evolution „Gewordenes“ und nichts Unveränderliches, Statisches ist. Es war kein Geringerer als Charles DARWIN, der uns zeigte, wie eine natürliche, objektive Erklärung des Zweckmäßigen rational möglich ist. Er befreite die Teleologie von ihrem Transzendentalismus. Karl MARX, der ein großer Verehrer DARWINS war, schrieb 1861 an seinen Freund Ferdinand LASSALLE: Durch das Werk DARWINS wurde der Teleologie „in der Naturwissenschaft nicht nur der Todesstoß gegeben, sondern der rationale Sinn derselben empirisch auseinandergelegt“ (Marx-Engels-Werke 1957 ff., Bd. 30, S. 578). DARWIN hat das uralte Rätsel, wie zweckmäßige Einrichtungen ohne zwecktätige Ursachen entstehen können, gelöst. Die Zweckmäßigkeit wird nicht mehr als letztlich göttlich bedingte Zweckbestimmtheit, nicht mehr als ursprünglich und absolut, sondern als historisch im Evolutionsprozess entstanden betrachtet. Sie ist nicht mehr eine gewollte, sondern eine gewordene.

DARWIN hat das Zweckmäßige keineswegs aus der Biologie verbannt, sondern – im Gegenteil – zum Gegenstand rationaler Analyse und wissenschaftlicher Aussage erhoben. Dieser Aspekt der Darwinschen Theorie ist mindestens ebenso hoch einzuschätzen wie

seine Theorie der gemeinsamen Abstammung (s. Abschn. 4.3). Colin S. PITTENDRIGH hatte in gewisser Weise schon recht, als er äußerte, dass der Titel von DARWINs Werk vielleicht treffender „*The origin of organization*“ hätte heißen sollen (Pittendrigh 1993, S. 17–54), denn die eigentliche Darwinsche Revolution bestand in der nichttheologischen und nichtteleologischen Erklärung der funktionellen Ordnung jedes Organismus.

Wenn wir in der Biologie von „Zweckmäßigem“ sprechen, dann nicht in dem Sinn, dass es seine Entstehung der Erfüllung eines Plans oder einer Absicht verdanke, weil „man“ sich von ihm einen Nutzen verspreche. Nein, im Gegenteil: Nicht die Erwartung eines Nutzens war das Primäre, dem die Ausbildung des Zweckmäßigen folgte, sondern das Zweckmäßige war zuerst aufgrund eines „glücklichen“ Zufalls vorhanden, und ihm folgte erst die Nutzenanwendung. Das Zweckmäßige entsteht im Organischen ohne vorangegangene Zwecksetzung. Das planmäßige und *absichtliche* Verfolgen von Zielen kennen wir nur in unserem Denken, Handeln und Wollen. Eine Übertragung auf das Biologische ist unzulässig. Ein „Wollen können wir in der Außenwelt nicht erkennen“, schrieb der Pflanzenphysiologe Erwin BÜNNING einmal (Bünning 1945). In der lebendigen Natur geschieht alles im Wechselspiel von Zufall und Notwendigkeit. Alles Zweckmäßige in der Natur ist eine Zweckmäßigkeit *a posteriori*, das Resultat vorangegangener Selektion, die die Fortpflanzungschance derjenigen Lebewesen mit zufällig zweckmäßigeren Eigenschaften begünstigt und Unzweckmäßigem eine geringe Chance gibt, fortzubestehen.

Da die Zweckmäßigkeit nach DARWIN das Produkt eines langen Optimierungsprozesses durch Mutation, Rekombination und Selektion ist, ist sie i. d. R. auch nicht vollkommen, sondern nur relativ. Die Zweckmäßigkeit wird nicht so weit wie *möglich*, sondern immer nur so weit wie *notig* für den Weiterbestand des Individuums oder der Art entwickelt. Auf Schritt und Tritt begegnet der Biologe „Irrtümern der Evolution“, „Fehlkonstruktionen“ oder, wie sie Ernst HAECKEL bezeichnet hat, „**Dysteleologien**“. Sie sind nur aus ihrer Phylogenie heraus verständlich.

All das hat auch schon DARWIN in voller Klarheit gesehen. „Die natürliche Zuchtwahl“, so schrieb er, „will keine absolute Vollkommenheit schaffen, sowenig wir in der Natur absolut Vollkommenes finden“ (Darwin 1980, S. 216f.). Als Beispiel führte er die nach Johannes MÜLLER sehr mangelhafte Beseitigung der Aberration des Lichts im menschlichen Auge an und zitierte Hermann VON HELMHOLTZ, der im Hinblick auf das menschliche Auge gesagt haben soll: „Was wir an Ungenauigkeit und Unvollkommenheit im optischen Apparat und im Bild der Netzhaut entdecken, ist nichts im Vergleich zu der Ungenauigkeit, denen wir auf dem Gebiet der Empfindungen begegnen. Man könnte glauben, die Natur gefalle sich darin, Widersprüche zu häufen, um alle Grundlagen für die Theorie der präexistierenden Harmonie zwischen der äußeren und der inneren Welt zu beseitigen.“

Man muss heute zur Kenntnis nehmen, dass alle wissenschaftlichen Erkenntnisse der letzten hundertfünfzig Jahre DARWIN darin Recht gegeben haben, dass der evolutive Wandel weder geradlinig noch planmäßig und schon gar nicht zielgerichtet verläuft, dass ihm das „*télos*“ im Begriff Teleologie schlechterdings fehlt (s. Abschn. 4.4). Es gibt keine Entität, die Ziele setzen könnte. „Die Natur zielt nicht, sie spielt“, schrieb Otto RENNER

einmal (zit. bei Heberer 1962, S. 93–108). Der Mensch ist weder das Ziel noch der Endpunkt der Evolution. – Die Zukunft ist offen.

Das Fehlen jeglicher **Finalität** im Sinn von Zweckbestimmtheit oder Zweckgerichtetheit in der organischen Welt zu akzeptieren, fiel und fällt vielen Wissenschaftlern und Philosophen schwer. Es hat deshalb in der Geschichte nie an Versuchen gefehlt, dem evolutiven Prozess Richtung und Ziel zu unterstellen. Der Neurobiologe und Nobelpreisträger John ECCLES gestand noch 1982 freimütig zum Abschluss seiner „*Gifford-Lectures*“ (Eccles 1982, S. 10): „Darüber hinaus bin ich Finalist in dem Sinne, dass ich an die Existenz einer Absicht, eines Plans in den biologischen Evolutionsvorgängen glaube, der schließlich zu uns selbstbewussten Wesen mit unserer einzigartigen Individualität geführt hat.“

2.10 Die Teleonomie und Zielgerichtetheit

Der Teleologiebegriff ist in seiner langen Geschichte stark in Misskredit geraten, weil er oft mit irrigen vitalistischen (s. Abschn. 2.14) oder naturtheologischen Interpretationen (s. Abschn. 2.7) in Verbindung gebracht worden ist. Viele Biologen hegen deshalb verständlicherweise eine tief verwurzelte Abneigung, Ziele und Zwecke in unserer natürlichen Welt anzuerkennen, können andererseits auf teleologische Formulierungen aber kaum verzichten. John Scott HALDANE beschrieb die Situation einmal so: „Die Teleologie ist wie eine Mätresse für den Biologen, er kann ohne sie nicht leben, möchte aber nicht in der Öffentlichkeit mit ihr gesehen werden.“

Um den notwendigen Abstand zu der „alten“ Teleologie auch begrifflich zu manifestieren, schlug Colin S. PITTENDRIGH im Jahr 1958 den neutralen Ausdruck **Teleonomie** mit folgenden Worten vor (Pittendrigh 1958, S. 390–416): „Man könnte die althergebrachte Verwirrung der Biologen ein für alle Mal aus der Welt schaffen, wenn man alle zielgerichteten Systeme mit irgendeinem anderen Ausdruck, beispielsweise dem Wort ‚teleonomisch‘ beschreiben würde, um hervorzuheben, dass das Erkennen und Beschreiben des Endgerichtetseins keine Verpflichtung gegenüber der aristotelischen Teleologie als eines effizienten Kausalprinzips impliziert.“ PITTENDRIGH unterließ es leider, diesen Begriff klar zu umreißen. Dessen ungeachtet wurde er von vielen Biologen – weniger allerdings von Philosophen! – begeistert aufgegriffen, ohne dass damit eine klare Begriffsbestimmung einhergegangen ist, was zwangsläufig zu erneuten Diskussionen und Missverständnissen führen musste und auch geführt hat. Man kann heute leider nicht erkennen, dass die „Verwirrung der Biologen“ über die Bedeutung von Zweck und Ziel in ihrer Wissenschaft nach Einführung des Teleonomiebegriffs „ein für alle Mal aus der Welt geschafft“ worden ist.

Mit Sicherheit trägt es nicht zur Klärung bei, wenn man den neuen Begriff „Teleonomie“ sofort wieder undifferenziert auf alles bezieht, wie es D. L. HULL getan hat: Teleonomie bezieht sich auf „alle Zustände, die sich hinter den Begriffen Ziel, Zweck und Funktion verbergen“ (Hull 1974). PITTENDRIGH selber wollte seinen Begriff auf „zielgerichtete Systeme“ bezogen wissen, und Ernst MAYR pflichtete dem im Grunde

genommen bei, ergänzte aber, dass diese Systeme ihr Gerichtetsein dem Wirken eines **Programms** verdanken müssen (Mayr 1979, S. 207–217). Da das Programm, genetisch verankert oder durch Lernen erst erworben, bereits vor dem Beginn des teleonomischen Vorgangs besteht, ist es auch, wie MAYR fortfährt, „mit einer kausalen Erklärung durchaus vereinbar“. Im Gegensatz zu willentlichen, gezielten Akten menschlichen Handelns wird das Programm nicht erst durch das angestrebte Ziel bestimmt, sondern das Ziel ist im Programm bereits von vornherein enthalten. Teleonomie bedeutet in der Biologie „zielgerichtet“ aber niemals „zielbeabsichtigt“ oder „zielintendiert“. Teleonomie ist Zielgerichtetheit ohne Kenntnis des Ziels.

Man sollte, wie es Ernst MAYR vorgeschlagen hat, den Teleonomiebegriff der Zielgerichtetheit nicht auf **Strukturen** ausdehnen. Wo ist das „telos“, auf das sich eine Struktur hinbewegt? Eine Struktur kann zweckmäßig für die Erfüllung einer Aufgabe sein, sie ist aber nicht selber die Aufgabe, der Zweck und hat auch kein Ziel. Das „Ziel“ des Hammers ist es nicht, dass man mit ihm einen Nagel in die Wand schlägt. Man sollte deshalb im Sinn einer klaren Nomenklatur zwischen funktionalen bzw. zweckmäßigen Eigenschaften von Strukturen und der Teleonomie bzw. Zielgerichtetheit von Abläufen trennen. Teleonomie können vererbte oder erworbene Handlungen sein. Der augenfälligste und zentralste teleomone Vorgang im Organischen ist zweifellos die Entwicklung eines neuen Organismus aus einer befruchteten Eizelle (s. Abschn. 10.1). Er verläuft zwar zielgerichtet, aber in keiner Weise vom Ziel her bestimmt.

Vielfach wird der Ausdruck „teleonomisch“ synonym mit „angepasst“ oder „adaptiert“ gebraucht. So bezeichnet beispielsweise B. DAVIS „die Entwicklung wertvoller Strukturen und Mechanismen“ im Prozess der Evolution auf der Grundlage einer natürlichen Auslese als Teleonomie (Davis 1961, S. 1–10). Auch Francisco J. AYALA kann hier angeführt werden, der meinte, dass der Teleonomiebegriff eingeführt worden sei, „um die Adaptation in der Natur als Resultat der natürlichen Auslese zu erklären“ (Ayala 1970, S. 1–15). Ganz davon abgesehen, dass ein Begriff niemals etwas „erklärt“, kann hier mit Ernst MAYR entgegnet werden: „Wenn das so wäre, dann wäre der Ausdruck recht unnötig“ (Mayr 1979, S. 207–217). Niemals verlaufen die Anpassungen in der Evolution aufgrund eines Programms zielgerichtet, können also auch nicht als teleonomisch bezeichnet werden. Ob ein Merkmal besser „angepasst“ ist oder nicht, ist niemals eine Entscheidung *a priori*, sondern immer eine solche *a posteriori*. Jacques MONOD sagte einmal: „Die Selektionstheorie macht die Teleonomie zu einer sekundären Eigenschaft“ (Monod 1975, S. 38).

Der Teleonomiebegriff nahm bei Jacques MONOD (Monod 1975, S. 27 ff.) eine gegenüber Ernst MAYR andere, wieder wesentlich weitergefasste Form an. Mit ihm kennzeichnete MONOD die zentrale Eigenschaft, durch die sich alle Lebewesen von „allen anderen Strukturen aller im Universum vorhandenen Systeme“ unterscheiden. Die Objektivität zwingt uns, so MONOD, „den teleonomischen Charakter der Lebewesen anzuerkennen und zuzugeben, dass sie in ihren Strukturen und Leistungen ein Projekt verwirklichen und verfolgen.“ In diesem Sinn bezeichnet MONOD *alle* Strukturen, Leistungen und Tä-

tigkeiten, die zum Erfolg dieses einmaligen Projekts beitragen, das in der Erhaltung und Vermehrung der Art besteht, als „teleonom“. Dieses **teleonomische Projekt** selbst besteht nach MONOD „im Wesentlichen in der Übertragung des für die Art charakteristischen Invarianzgehaltes von einer Generation auf die nächste“, kurz: in der „invarianten Reproduktion“. Die „hauptsächlichen molekularen Träger der teleonomischen Leistungen“ sind nach MONOD die Proteine, während die „genetische Invarianz ausschließlich an die [...] Nucleinsäuren gebunden ist.“ Im Gegensatz zu MAYR dehnt MONOD den Teleonomiebegriff auch wieder auf Strukturen aus, stimmt aber andererseits mit MAYR darin weitgehend überein, dass dem Teleonomischen ein Programm (MONOD nennt es „Projekt“) zugrunde liegen müsse.

Diese berechtigte Betonung der Notwendigkeit eines genetischen Programms oder Projekts für die teleonomen Leistungen darf nicht dahingehend missverstanden werden, dass man in der DNA die „Ursache“ für die Leistungen sieht, was falsch wäre. Die DNA kann ihre wichtigen Steuerfunktionen nur in Zusammenarbeit mit vielen anderen Zellkomponenten erfüllen. Allein vermag sie so gut wie nichts (s. Abschn. 9.5). Sie schafft weder Zwecke noch Ziele. Hinsichtlich der Problematik um den Begriff „genetisches Programm“ sei in diesem Zusammenhang auf Mario BUNGE verwiesen (Mahner und Bunge 2000, S. 275 ff.). Das genetische Programm ist „eine mit exekutiver Kraft ausgestattete Entität, die gar nicht existiert“ (Moss 1992, S. 335–348).

2.11 Die Frage nach dem „Wozu“

Wozu-Fragen sind Fragen nach dem Zweck. Sie können nur mit einem „Damit“ oder „Um-zu“ beantwortet werden (Mahner und Bunge 2000, S. 353), sonst sind es keine echten Wozu-Fragen. Da die Existenz von Zweckmäßigem in organischen Systemen unübersehbar und notwendig ist, sind in der Biologie – im Gegensatz zu den anorganischen Naturwissenschaften – Wozu-Fragen nicht nur zulässig, sondern auch zum vollständigen Verständnis lebendiger Systeme unverzichtbar.

Auf die Frage, warum wir schwitzen, gibt es grundsätzlich zwei Antworten, eine unmittelbare („proximate“) und eine mittelbare („ultimate“; MAYR 1991, S. 41). Die unmittelbare Antwort lautet: Wir schwitzen, *weil* unsere Körpertemperatur infolge unserer körperlichen Aktivität ansteigt. Das ist die „hier-und-jetzt“-Erklärung der Funktionsbiologen (Physiologen), die sich auf experimentelle, kausalanalytische Untersuchungen beruft (**kausal-analytische Erklärung**). Die mittelbare Antwort lautet: Wir schwitzen, *um* den Überschuss an Wärme an die Umgebung abzuführen. Diese Erklärung bezieht sich auf den in langer Evolution durch Mutabilität, Selektion und Rekombination herausgebildeten adaptiven Nutzen des Ereignisses für den betreffenden Organismus (**teleome Erklärung**).

Für den Biologen sind beide Antworten gleichermaßen wichtig und interessant. Eine teleome Erklärung macht die kausalanalytische in keiner Weise überflüssig, sondern, im Gegenteil, fordert diese heraus und ergänzt sie. Eine ist durch die andere nicht ersetz-

bar. Jeder Versuch, teleonome Erklärungen in kausale zu „übersetzen“, muss fehlschlagen. Eine teleonome Erklärung setzt keine vitalen Kräfte im Sinn eines *élan vital* (BERGSON) oder einer Entelechie (DRIESCH) voraus, auch keine Finalursachen (*causae finales*), sondern verweist auf das Ende, das Ziel des Prozesses, betrachtet die Funktion, die der Vorgang im Gesamtgefüge der wechselseitigen Abhängigkeiten zu erfüllen hat. Die Frage, die zur Beantwortung ansteht, ist, wie sich der betreffende Prozess in die biotische Organisation einfügt.

Während die teleonome Erklärung aus einem *Top-down*-Ansatz in der Forschung resultiert, verweist der *Bottom-up*-Ansatz einer kausalanalytischen Erklärung auf den Ursprung des Prozesses. Die zu beantwortende Frage lautet jetzt, durch welche Faktoren und auf welche Weise der Prozess ausgelöst und gesteuert wird. Ein biologischer Prozess kann aber erst dann als voll verstanden gelten, wenn beide Fragen, die aus dem *Top-down*- und diejenige aus dem *Bottom-up*-Ansatz, befriedigend beantwortet worden sind. Darin unterscheidet sich die Forschungsstrategie in der Biologie grundsätzlich von derjenigen in den anorganischen Naturwissenschaften. Der Biologe würde sehr viel verlieren, wenn er auf teleonome Formulierungen verzichten würde, was in letzter Konsequenz gar nicht möglich ist.

Im Gegensatz zur Physik sind in der Biologie Fragen nach dem Zweck nicht nur legitim, sondern auch von großem heuristischem Wert. Es wird berichtet, dass William HARVEY zur Entdeckung des Blutkreislaufs geführt wurde, als er begann, sich über den Zweck der Klappen in den Adern Gedanken zu machen. Deshalb ist es schlicht falsch, wenn der Belgische Biochemiker Ernest SCHOFFENIELS in seinem auch in anderer Hinsicht sehr fragwürdigen Buch „Anti-Zufall“ behauptet, dass die Biologie sich nur bereichern könne, „wenn sie von der finalistischen und teleologischen Denkweise ganz ablässt“, und wenn weiter behauptet wird, dass man „den finalistischen Sprachgebrauch ohne jeden Verlust für die Wissenschaft eliminieren“ könne (Schoffeniels 1984, S. 25). Das hieße in der Konsequenz, in der Biologie nicht mehr von Funktionen sprechen, nach Funktionen suchen und Funktionen experimentell erforschen zu dürfen. Es ist, im Gegenteil, keine Übertreibung, wenn Ernst MAYR schreibt, „dass viele große Fortschritte in der Biologie dadurch möglich geworden seien, dass die Frage nach dem Zweck gestellt wurde“ (Mayr 1979, S. 221).

Das bedeutet jedoch nicht, dass die kausalanalytische Forschung für den Biologen und sein Objekt irrelevant ist, wie E. S. RUSSELL behauptete (Russell 1945, S. 4). Im Gegenteil, biologische Objekte sind extrem komplexe Systeme, in dem die Teile untereinander in kausaler Abhängigkeit voneinander existieren. Es ist die Aufgabe der Physiologen, Biochemiker und Biophysiker, diese Relationen im Detail und auf allen Ebenen der hierarchischen Struktur zu analysieren. Die beeindruckenden Fortschritte, die auf diesem Feld in den letzten Jahrzehnten erzielt worden sind, machen sehr deutlich, wie erfolgreich ein solches *Bottom-up*-Vorgehen auch in der Biologie war und bleiben wird.

2.12 Teleonomie und Kybernetik

Als im Jahre 1943 A. ROSENBLUETH, N. WIENER und J. BIGELOW das Programm der neuen Wissenschaft, der sie den Namen „Kybernetik“ gaben, vorstellten, gaben sie ihrer Publikation den vielsagenden Titel „*Behavior, Purpose, and Teleology*“ (Rosenblueth et al. 1943, S. 18–24). Sie kamen zu dem Schluss, dass „teleologisches Verhalten [...] gleichbedeutend“ sei „mit Verhalten, das durch negative Rückkopplung gesteuert wird“. Dieser Gleichsetzung schlossen sich verschiedene Autoren an. Beispielsweise schrieb der Philosoph Georg KLAUS (Klaus 1960, S. 1266–1277): „Systeme mit Rückkopplung verhalten sich ‚zielstrebig‘. Wer den jeweiligen Regelmechanismus nicht kennt und nur die einwirkenden Ursachen und das Resultat beobachtet, muss den Eindruck gewinnen, als strebe das System einem bestimmten Ziel zu, und zwar relativ unabhängig von Zahl und Stärke der einwirkenden Ursachen.“ Die Mikrobiologen DEAN und HINSHELWOOD (Dean und Hinshelwood 1959, S. 311–328) gingen sogar so weit, dass sie in unzulässiger Weise den *Tatbestand* des Zweckmäßigen mit der *Fähigkeit* zur Anpassung und beide mit der *Wissenschaftsdisziplin* Kybernetik gleichsetzten. Weiter kann man die Begriffsverwirrung wohl kaum noch treiben! Demgegenüber fällt auf, dass in dem Hauptwerk Norbert WIENERS mit dem Titel „*Cybernetics*“ die Begriffe Teleologie und Zweckmäßigkeit als Stichworte überhaupt nicht mehr auftauchen (Wiener 1963).

Eine Identifizierung der Teleonomie mit dem Rückkopplungsphänomen ist aus zweierlei Gründen unzulässig:

1. Nicht in jeden organischen teleonomischen Vorgang sind Rückmeldekreise integriert.
2. Für die Zielstrebigkeit teleonomischer Vorgänge sind nicht Rückkopplungseinrichtungen, die lediglich die Zuverlässigkeit und Präzision des Vorgangs verbessern, sondern Programme unerlässlich.

Wie Erich VON HOLST zeigen konnte, kommen eine Reihe zweckmäßig und zielgerichtet ablaufender Bewegungen, sog. **Erbkoordinationen** oder „*field motor pattern*“, allein aufgrund eines im Zentralnervensystem präformierten Programms, d. h. zentralnervöser Automatismen, zustande und bedürfen keinerlei Rückkopplung. Beispielsweise produziert ein völlig desaffenziertes Rückenmark des Aals immer noch rhythmische Aktivitäten in solcher zeitlichen Ordnung, dass ohne jegliche Rückmeldung normale Schwimmbewegungen in ihrer „arterhaltend sinnvollen Form“ zustande kommen.

In den Verhaltenswissenschaften unterscheidet man zwischen ausgelösten, gesteuerten und geregelten Verhaltensweisen (Flechtner 1969, S. 289; Tembrock 1980, S. 28). Ein durch die Untersuchungen von Horst MITTELSTAEDT gut analysiertes Beispiel für ein **gesteuertes Verhalten** ist der „Fangschlag“ der Fangheuschrecke *Mantis* mit ihrem zu einem Fangbein umgestalteten Vorderbein auf eine Beute (Fliege). Diese Bewegung erfolgt so schnell, dass eine Korrektur während ihres Ablaufs unmöglich ist. Die Zielsteuerung geschieht über die Augen und Propriozeptoren am Hals (Mittelstaedt 1962, S. 177–198). Ein anderes eindrucksvolles Beispiel liefert das motorische Programm des

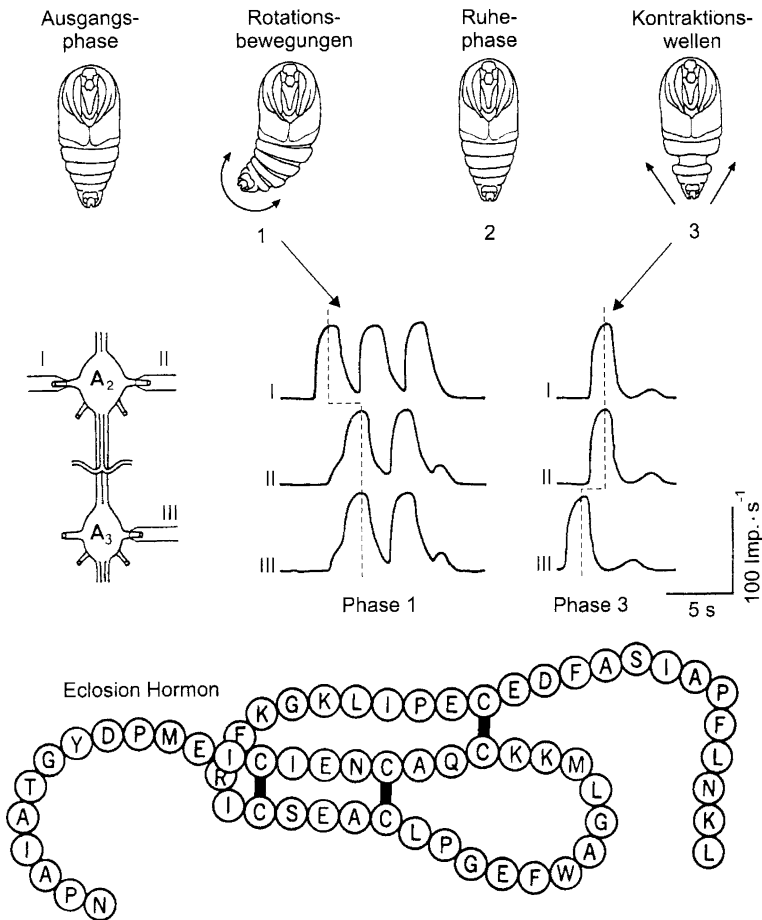


Abb. 2.11 Das vom Ecdysionshormon ausgelöste Schlupfverhalten der Puppe vom Riesenseiden spinner (*Hyalophora cecropia*) setzt sich aus Rotationsbewegungen des Abdomens (Phase 1) gefolgt von einer Ruhephase (Phase 2) und einer sich anschließenden 3. Phase mit von hinten nach vorn fortschreitenden Kontraktionswellen zusammen. Die von den Nerven I, II und III der isolierten zweiten und dritten Abdominalganglien 20–40 Minuten nach Zugabe des Ecdysionshormons *in vitro* ableitbaren elektrischen Aktivitäten während der Phasen 1 (Rotationen) und 3 (Kontraktionswellen) spiegeln exakt die motorischen Aktivitäten der intakten Puppe *in vivo* wider. (Nach Truman und Riddiford; Gersch und Richter zusammengestellt)

zielgerichteten Vorschlupf- (heftige Rotationsbewegungen des Abdomens) und Schlupfverhaltens (peristaltische Kontraktionsbewegungen) der Puppe des Riesenseiden spinners (*Hyalophora cecropia*) (Abb. 2.11). Das gesamte Programm in seiner natürlichen zeitlichen Abfolge liegt in den abdominalen Ganglien gespeichert vor und kann durch eine Hormongabe (Ecdysionshormon) aktiviert werden. Selbst die isolierte Ganglienkette des Abdomens spiegelt in ihrer neuronalen Aktivität die Verhaltensphasen der intakten Pup-

pe *in vivo* exakt wider, ohne dass eine Rückmeldung von den Muskeln eintreffen kann (Truman 1978, S. 151–173). Solche Beispiele sind keineswegs auf Insekten oder niedere Tiere beschränkt. Man findet sie genauso bei Primaten, bei denen viele der oft stark differenzierten Bewegungskoordinationen unabhängig von jeder Steuerung über äußere und innere Rezeptoren ablaufen (Taub et al. 1965, S. 593–594).

In diesem Zusammenhang sind auch die sog. **Leerlaufreaktionen** interessant. Es handelt sich dabei um den Ablauf vollständiger Erbkoordinationen, ohne dass der normalerweise für sie notwendige auslösende Reiz aufgetreten ist. So berichtet Konrad LORENZ, dass ein Weibervogel (*Auelia*) „die ganze komplizierte Bewegungsabfolge, die beim Nestbau zum Befestigen eines Grashalms an einem Zweig dient, auch ohne Grashalm oder irgendein ähnliches Objekt ausführt. Der Ablauf sieht dann so aus, als ‚halluziniere‘ der Vogel das Objekt“ (Lorenz 1982, S. 79 f.). Ebenso wie die „Kettenreflextheorie“ nicht ausreicht, alle Instinktbewegungen zu erklären, reicht das Rückkopplungsprinzip nicht aus, alle zweckmäßigen, zielgerichteten Prozesse im Organischen zu erklären.

Wassili F. SERSHANTOV schätzte mit Recht ein, dass das „Hauptergebnis in der Wissenschaftsgeschichte, mit dem die Rückkehr der materialistischen Philosophen und Biologen zum teleonomen Prinzip begann, wahrscheinlich die weite Verbreitung der Methoden und Denkweisen der Kybernetik“ war, gibt dann aber zu bedenken, dass „dadurch auch eine gewisse Enge in der Stellung und Lösung des eigentlichen Problems bedingt sei, da die Zweckmäßigkeit häufig auf den Mechanismus der Rückkopplung reduziert wird“ (Serschantov 1978, S. 150). Eine genauere Abgrenzung der Begriffe ist hier dringend erforderlich. Die Identifikation von Zweckmäßigkeit mit der Rückkopplung ist schon deshalb nicht zulässig, weil Zielgerichtetheit und Zweckmäßigkeit systemische Begriffe sind, die Rückkopplung dagegen ein kausaler Begriff ist.

Teleonomische Vorgänge zeichnen sich dadurch aus, dass sie – erstens – durch ein Programm gesteuert werden (s. Abschn. 2.10) und – zweitens – einen Zielpunkt aufweisen, bei dessen Erreichen der Vorgang beendet ist. Dabei können Rückkopplungsmechanismen integriert sein, der Regelkreis selbst stellt jedoch nur ein Hilfsmittel dar, um die Zuverlässigkeit und die Präzision teleonomischer Vorgänge sowie deren Sicherheit gegenüber eventuellen Störungen zu erhöhen. Der Vorgang selber verdankt seinen teleonomischen Charakter nicht dem Regelkreis, sondern einer nach Programm sich ändernden oder auch konstanten **Führungsgröße**, die den Regelkreis von außen steuert.

Ursächlich verantwortlich für den teleonomischen Prozess ist ein internes Programm, das genetisch fixiert oder auch erlernt sein kann. Ebenso wenig, wie der Thermostat die Temperatur bestimmt, die in der Wohnung herrschen soll, sondern der Mensch, der den „Sollwert“ einstellt, bestimmt auch nicht der Dehnungsreflex die Länge des Muskels, sondern die zentral gesteuerte γ -Efferenz. Sinkt diese, wie beispielsweise beim Einschlafen, so kommt es folgerichtig zur Erschlaffung des betreffenden Muskels, der Kopf fällt im Sitzen nach vorn auf die Brust („Einnicken“). „Wenn man teleonomische Vorgänge im Sinne der Existenz von Regeleinrichtungen definiert, so legt man [...] den Nachdruck auf den falschen Punkt“, betonte Ernst MAYR. „Sie sind Vermittler des Programms; soweit es

aber um das Grundprinzip geht, darum, dass das Ziel überhaupt angestrebt wird, sind sie von untergeordneter Bedeutung“ (Mayr 1979, S. 207–217).

Die für das Lebendige so charakteristische Erscheinung der **Homöostase** selbst ist kein teleonomischer Vorgang, sie ist überhaupt kein Vorgang, sondern ein (Ziel-)Zustand. Als teleonomisch sind nur diejenigen Vorgänge zu bezeichnen, die „selbsttätig“ zu diesem Zustand hin- bzw. nach einer Störung auf ihn zurückführen. Sie können sich dabei eines „Feedback-Mechanismus“ (Regelkreises) bedienen, der aber selbst wiederum nicht teleonomisch ist. Man muss stets zwischen der Teleonomie eines Vorgangs und den diese Teleonomie ermöglichenden Mechanismen unterscheiden. Man kann Eve-Marie ENGELS nur zustimmen, wenn sie schreibt: „Für sich betrachtet, läuft der kybernetische Prozess blind und unteleologisch ab. Seine reine Struktur oder Gestalt lässt sich daher auch ganz unteleologisch beschreiben. Die Finalität des Prozesses kommt erst durch dessen Einbettung in intentionale bzw. intentionalitätsanaloge Zusammenhänge zustande“. Sie hat aber nicht mehr recht, wenn sie fortfährt: „Für den Biologen in seiner Eigenschaft als Naturwissenschaftler stellt sich das Problem teleologischer Erklärungen daher nicht mehr oder noch nicht wieder“ (Engels 1982, S. 151).

2.13 Der ontologische Reduktionismus (Physikalismus)

Strenggenommen ist über dieses Thema schon so unendlich viel geschrieben und gesprochen worden, dass es schwerfällt, noch mit Neuem aufzuwarten. Man wird an die in Anlehnung an den Prediger SALOMO von dem spanischen Philosophen George SANTAYANA formulierten Worte erinnert: „Es gibt nichts Neues unter der Sonne, außer das Vergessene.“ Nur allzu gern werden die triftigen Einwände gegen den ontologischen Reduktionismus ignoriert. Dagegen sind, wie die Vergangenheit uns lehrt, leider auch wiederholende Bekräftigungen oft machtlos.

Es geht längst nicht mehr um die Frage, ob die physikalisch-chemische Gesetzlichkeit auch im Bereich des Organischen uneingeschränkte Gültigkeit hat. Sieht man von unbelehrbaren Verfechtern vitalistischer oder spiritualistischer Denkrichtungen ab, so wird niemand mehr bestreiten, dass alle Materie einschließlich der Organismen aus Atomen besteht. Es wird auch keiner bestreiten, dass alle physikalischen Gesetze auch im Organismus ihre volle Gültigkeit behalten. Bisher ist jedenfalls kein einziger Fall beschrieben worden, der nachweislich gegen die physikalisch-chemischen Gesetze der anorganischen Natur verstoßen hätte, und so ein Fall wird wahrscheinlich auch nie auftreten.

Es geht auch nicht um die Frage, ob das in der Physiologie seit GALILEIS Zeiten praktizierte analytisch-summative Forschungsprogramm in der Biologie seine Berechtigung hat. Es hat uns ein beeindruckendes Gebäude an Wissen über Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten im Organismus geliefert. Zwischen der Physiologie eines Hermann BOERHAAVE und eines Hermann VON HELMHOLTZ liegen Welten! Es kann kein Zweifel darüber herrschen, dass die analytische Methode – oft sehr unglücklich als „pragmatischer“ oder „methodischer“ Reduktionismus bezeichnet (Ayala 1974, S. VII–XI) –

ein wichtiges Element auch der biologischen Forschung ist und auch weiterhin bleiben wird. Es würde die Reduktionismusdebatte wesentlich entlasten, wenn man diese äußerst erfolgreiche und unerlässliche Form wissenschaftlichen Progresses nicht länger als „reduktionistisch“ brandmarken würde (Mayr 1984, S. 51), denn es handelt sich dabei um eine anerkannte *Forschungsstrategie*, aber nicht um eine ontologische Position.

Eine ganz andere Frage ist, ob das analytisch-summative Forschungsprogramm mit ihrem Denken in linearen Kausalabhängigkeiten bereits *ausreicht*, das Phänomen des Lebendigen, d. h. seine **Organisation** hinreichend zu erklären, ob uns die physikalisch-chemische Detailanalyse in der Summe über die einzelnen Befunde hinaus schließlich auch das *Wesen* des Lebendigen in seiner Eigenart wird verständlich machen können. Hier müssen erhebliche Zweifel angemeldet werden, weil das „Leben“ eine Systemleistung ist, die nicht auf linearen Kausalketten, sondern auf netzartig miteinander verknüpften Abhängigkeiten und Bedingtheiten, einer „organisierten“ Komplexität, beruht. In den physikalischen Theorien spielen dynamische Systeme mit einem internen teleonomem Programm keine Rolle, kennt man den Tatbestand des Zweckmäßigen und den für die Biologie so zentralen Begriff der Funktionalität ebenso wenig wie eine Evolution durch Mutation, Rekombination und Selektion.

Dem radikalen **Physikalismus** liegt die These zugrunde, „Leben“ sei *restlos* im Rahmen der Begriffe und Gesetze zu verstehen, wie wir sie aus den anorganischen Naturwissenschaften kennen. Die Dinge unterscheiden sich nur hinsichtlich ihrer Komplexität, aber nicht prinzipiell. Den Physikalisten schwebt als nahes oder fernes Ziel die Schaffung einer „Einheit aller Naturwissenschaften“ vor, ein Programm, das sich auch die Neopositivisten auf die Fahne geschrieben hatten (Causey 1977; Rosenberg 1994). Francis CRICK, ein prominenter Vertreter dieser Richtung, ging davon aus, dass „das letzte Ziel der modernen Entwicklung in der Biologie darin bestünde, alle Biologie in Begriffen der Physik und Chemie zu erklären“ (Crick 1966, S. 10). Leider hat uns CRICK nicht verraten, *welche* Physik er dabei im Auge hatte, die Physik, wie sie uns heute vorliegt, in der weder der Begriff der Organisation noch der der Information oder der Funktion eine Rolle spielen, oder eine zukünftige Physik, die in weiter Ferne liegt.

Ein wesentliches Merkmal des Physikalismus ist die **Leugnung jeglicher Sondergesetzlichkeit** (Gross 1930) im Reich des Lebendigen. Die Vertreter glauben, dass sich die natürlichen Objekte lediglich in ihrem Grad an Komplexität unterscheiden, sodass das Ganze vollständig aus seinen Teilen heraus verstanden werden könne. Sie betrachten den Übergang von der unbelebten zur belebten Materie als ein Kontinuum. Wenn es gegenwärtig noch gewisse Schwierigkeiten im physikalischen Verständnis des Lebendigen gäbe, so die Vertreter dieser Denkrichtung weiter, seien das lediglich temporäre, aber keine prinzipiellen Hindernisse. Es wird schließlich sogar das Bewusstseinsphänomen als prinzipiell physikalisch-chemisch lösbar betrachtet. Sehr deutlich hat das der Philosoph Bertrand RUSSELL (Russell 2007, S. 225) zum Ausdruck gebracht: „Für den modernen Wissenschaftler ist der Tierkörper eine äußerst durchdachte Maschine von ungeheuer komplizierter physikalisch-chemischer Struktur; jede neue Entdeckung dient dazu, die sichtliche Kluft zwischen Tier und Maschine zu verringern.“ Dazu ist allerdings anzumer-

ken, dass das Gegenteil eingetreten ist: Jede neue Entdeckung auf dem Feld der Biologie macht die Kluft deutlicher, tiefer und prinzipieller.

Die Position des Physikalismus liefert die Basis für den sog. **ontologischen Reduktionismus** (Ayala 1974, S. VII–XVI), dessen Ziel darin besteht, alle biologischen Phänomene auf das Wirken und Zusammenspiel „letzter“ physikalischer Einheiten zurückzuführen, d. h. auf sie zu „reduzieren“. Ein prominenter Vertreter dieser Richtung ist James WATSON. Als er seine These, dass „nichts über das Atom“ gehe, am Londoner „*Institute of Contemporary Arts*“ vorgetragen hatte, antwortete er auf den Einwand Andrew HUXLEYS, dass er doch sicher Zellen zulassen würde, mit einem klaren „Nein, nur Atome“ (zit. bei Rose 2000, S. 105). Man kann die Situation, in der sich die gegenwärtige Biologie befindet, mit der Physik in der Zeit nach NEWTON vergleichen. Die gegenwärtige Biologie hat wie die damalige Physik große Erkenntnisfortschritte erzielt, die universelle Gravitation und das Sonnensystem in dem einen und die DNA-Doppelhelix und Molekulargenetik im anderen Fall. Beide Male glaubte man, mit dem Neuentdeckten alles erklären zu können. Die Physik musste bald erkennen, dass die Welt wesentlich komplexer und subtiler ist. Es ist zu vermuten, dass die Biologen in absehbarer Zeit eine ähnliche Erfahrung werden machen müssen (Polkinghorne 2001, S. 75).

Hintergrundinformationen

Ein anderer, ebenfalls sehr prominenter Vertreter des ontologischen Reduktionismus ist der Physiker Richard P. FEYNMAN. Er schrieb in seinem Lehrbuch, dass „alles, was lebendige Dinge tun, [...] aus dem Zittern und Zappeln der Atome“ verstanden werden könne (Feynman et al. 1987, S. 53). Es wird aus der Tatsache, dass alle Dinge aus Atomen bestehen, der Schluss abgeleitet, dass auch alles aus dem Zusammenspiel der Atome erklärbar sein müsse. Das trifft schon für die Hebelgesetze nicht zu. Keiner wird versuchen, sie aus dem „Zittern und Zappeln der Atome“ ableiten zu wollen. Noch weniger trifft das auf die von Menschenhand und -geist gefertigten Maschinen und schon gar nicht auf die Organismen zu. Die Feynmansche Behauptung bleibt auch dann falsch, wenn man das Wort „Atome“ durch „Moleküle“ ersetzt.

Solche und ähnliche enthusiastischen Äußerungen hochrangiger Wissenschaftler, die weit über das Ziel hinausschießen, sind in der Geschichte der Wissenschaften gar nicht so selten, wie der Züricher Physikochemiker Hans PRIMAS – mit vielen Beispielen unterlegt – einmal herausgearbeitet hat (Primas in Atmanspacher et al. 1995, S. 228). Sie zeugen nach seiner Meinung davon, „dass Faszination auch besessen, rücksichtslos und blind machen kann. Sie ist wie eine Droge, sie vernebelt vielen erfolgreichen Forschern die Sicht auf das Ganze.“ Scheinbar hat FEYNMAN selber seinen Standpunkt gar nicht so ernst genommen, denn in einem anderen Zusammenhang hört es sich ganz anders an. Dort wird von ihm gefordert, „dass wir die ganze Struktur mit sämtlichen verbindenden Teilen betrachten müssen, dass alle Wissenschaften [...] danach trachten müssen, die Verbindungen zwischen den Hierarchien oder Ebenen herauszufinden. [...] Geschichte mit der Psychologie verbinden, die Psychologie wieder mit der Wirkungsweise des Gehirns, das Gehirn mit den Nervenimpulsen, die Nervenimpulse mit der Chemie und so weiter [...], von oben nach unten und umgekehrt. Bis jetzt sind wir außerstande von einem Ende zum anderen eine durchgehende Linie zu ziehen, denn wir haben diese relative Hierarchie erst seit kurzem in den Blick bekommen.“ (zit. bei Edelman 1995, S. 7)

Die Position des physikalischen Reduktionismus findet häufig in **Nichts-anderes-als-Behauptungen** ihren nachhaltigen Niederschlag. Sie sind zwar griffig, aber i. d. R. unzutreffend. So wird behauptet, ein Lebewesen sei nichts anderes als eine Anhäufung von Elementarteilchen, Atomen bzw. Molekülen, die miteinander in Wechselbeziehungen stünden, nichts anderes als eine Maschine (Maschinentheorien des Lebens; Schultz 1929), nichts anderes als eine Verstärkeranordnung (Jordan 1958) oder nichts anderes als die Summe seiner Elementarteilchen (Jacob 1972, S. 199). Auf die Biologie bezogen heißt es dann, sie sei nichts anderes als Physik plus Chemie, der Stoffwechsel nichts anderes als Umsatz an freier Energie (Küppers 1986, S. 202), die biologische Strukturbildung nichts anderes als Selbstorganisation, die Urzeugung nichts anderes als ein einzelner, individueller Quantensprung (Jordan 1955, S. 109–122) und du selbst „nichts anderes als ein Bündel von Neuronen“ (Crick 1994, S. 3). Der Bestsellerautor Richard DAWKINS, dessen Vorliebe für reißerische, aber leider oft auch unzutreffende Kurzformeln bekannt ist, verstieg sich zu der Behauptung, dass „Leben“ „schlicht aus Bytes und Bytes und Bytes digitaler Information“ bestehe (Dawkins 1997, S. 31). Theodosius DOBZHANSKY sprach in diesem Zusammenhang mit vollem Recht von „Nichts-anderes-als-Trugschlüsse“, für die Julian HUXLEY den schönen Begriff „*Nothingelsebuttery*“ erfunden hat. Sie haben bis heute ihre mehr oder weniger vehementen Anhänger, selbst die lange Zeit als überwunden betrachtete Maschinentheorie des Lebens lebt in unseren Tagen weiter.

Der britische Mathematiker und Philosoph Alfred North WHITEHEAD schätzte mit Recht ein: „Die Neigung zu übertriebenen Behauptungen ist schon immer eines der Grundlaster der Wissenschaft gewesen, und so hat man denn zahlreichen innerhalb strikter Grenzen unzweifelhaft wahren Aussagen dogmatisch eine nicht bestehende universelle Gültigkeit beigemessen.“ (Whitehead 1974, S. 26). Das hier zum Ausdruck kommende Streben nach Vereinheitlichung unseres Wissens („Einheitsstreben der Erkenntnis“, N. HARTMANN) ist in den Wissenschaften verbreitet und durchaus legitim, bedarf aber in jedem Einzelfall einer gewissenhaften und gründlichen Absicherung. Es gibt in der Biologie viele Beispiele voreiliger **Homologisierungen** von Strukturen oder Vorgängen aufgrund oberflächlich ähnlicher Eigenschaften, ohne dass in jedem Fall entsprechende Prüfungen unternommen wurden, ob ein solcher Schluss gerechtfertigt ist, d. h. auf übereinstimmenden oder ähnlichen Mechanismen beruht.

Bekannt ist seit alters her das Beispiel des **Kristallwachstums** (Abb. 2.12), das gerne mit dem Wachstums- und Regenerationsvermögen von Organismen homologisiert wurde (Przibram 1926) und wird, obwohl offensichtlich und allgemein bekannt ist, dass beide Vorgänge auf völlig anderen Prinzipien beruhen und verschieden ablaufen, Apposition bei den Kristallen und Intussuszeption bei den Lebewesen. Ernst HAECKEL (Haeckel 1917, S. 7, 10) sah die Kristallisation als „wirkliche Lebenserscheinung“ an, die allerdings „in dem endlich erstarrten Gebilde erlischt.“ Noch in den 80er Jahren des vergangenen Jahrhunderts schlussfolgerte der Jenaer Philosoph Bernd-Olaf KÜPPERS, dass die Kristalle alle, für die Lebewesen charakteristischen Kriterien erfüllen, die er in Übereinstimmung mit OPARIN und EIGEN in ihrem Metabolismus, ihrer Fähigkeit zur Selbstreprodukti-

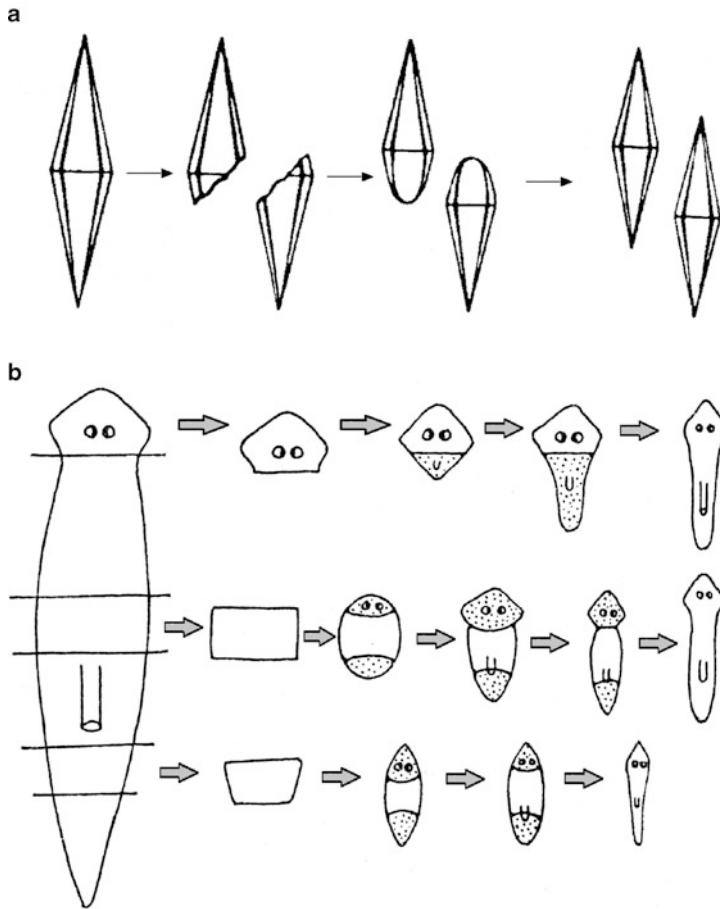


Abb. 2.12 Die Regeneration einer Planarie aus Teilstücken (b) ist nicht mit der „Regeneration“ eines Kristalls (a) zu homologisieren, da beide Erscheinungen auf völlig verschiedenen Prozessen beruhen. (Aus Lima-de-Faria 1990)

on und in ihrer Mutabilität sah: Die „Kristallisation in einer gesättigten Lösung“ sei, so der Autor, bereits „eine einfache Form der Selbstreproduktion“, den damit verbundenen „Energieumsatz“ könne man als „Metabolismus bezeichnen“ und die dabei auftretenden „Fehler im Kristallaufbau“ seien so etwas wie „Mutationen“ (Küppers 1986, S. 198 f.). Alle drei Schlüsse sind unzutreffend und deshalb unzulässig. Auch hier schießt Richard DAWKINS in seiner Vorliebe für plakative Formulierungen weit übers Ziel hinaus, wenn er die Kristalle als „einfache Replikationsstrukturen“ einstuft, die „mit einigen Merkmalen der Replikation, Multiplikation, Vererbung und Mutation“ versehen seien, „die für den Start einer kumulativen Selektion nötig gewesen wären.“ (Dawkins 1987, S. 181)

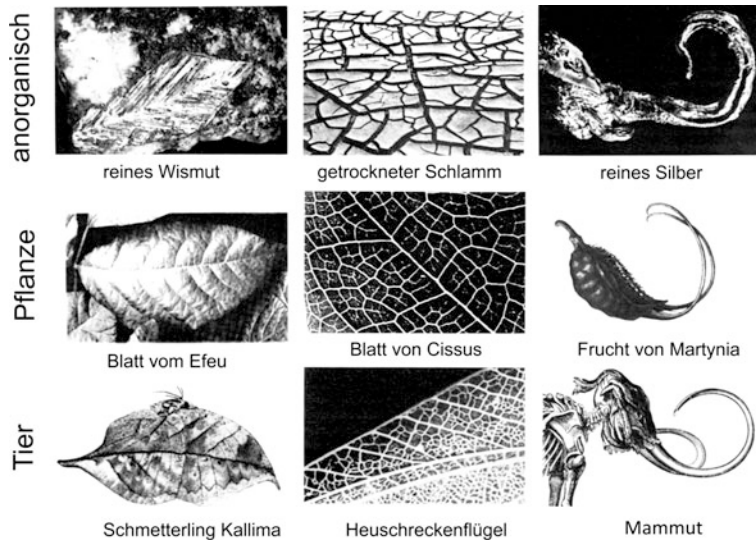


Abb. 2.13 Willkürliche (deshalb unzulässige) Homologisierungen von biologischen Strukturen untereinander und mit anorganischen Strukturen. Erläuterungen im Text. (Aus Lima-de-Faria 1990)

Hintergrundinformationen

Wieweit man solche Homologisierungen treiben kann, soll folgendes Beispiel illustrieren (Abb. 2.13): Nach Antonio LIMA-DE-FARIA (Lima-de-Faria 1990, S. 105–122), Biochemiker an der Universität Lund, entstehen neue Formen und Funktionen in der Evolution nicht durch Auslese, sondern durch „Autoevolution“. Für ihn gibt es keine Zufälle und Analogien in der Evolution, sondern nur Homologien unterschiedlichen Ausmaßes, d. h. „jede biologische Gestalt und jede biologische Funktion hat einen Vorläufer in der Welt der Mineralien, der Chemikalien und der Elementarteilchen.“ So ist das „Blattmuster“ keine „Erfindung“ der Pflanzen, sondern schon „auf der atomaren Ebene“ (reines Wismut) vorhanden und auch bei den Tieren (Schmetterling) anzutreffen. Dasselbe gilt für die „Stützstrukturen“ (Bruchstellen bei Trockenheit im Boden – Blattadern – Skelettstäbe im Heuschreckenflügel) oder für die „gebogenen Fortsätze“ (gediegenes Silber – Frucht von *Martynia lutea* – Stoßzähne des Mammuts).

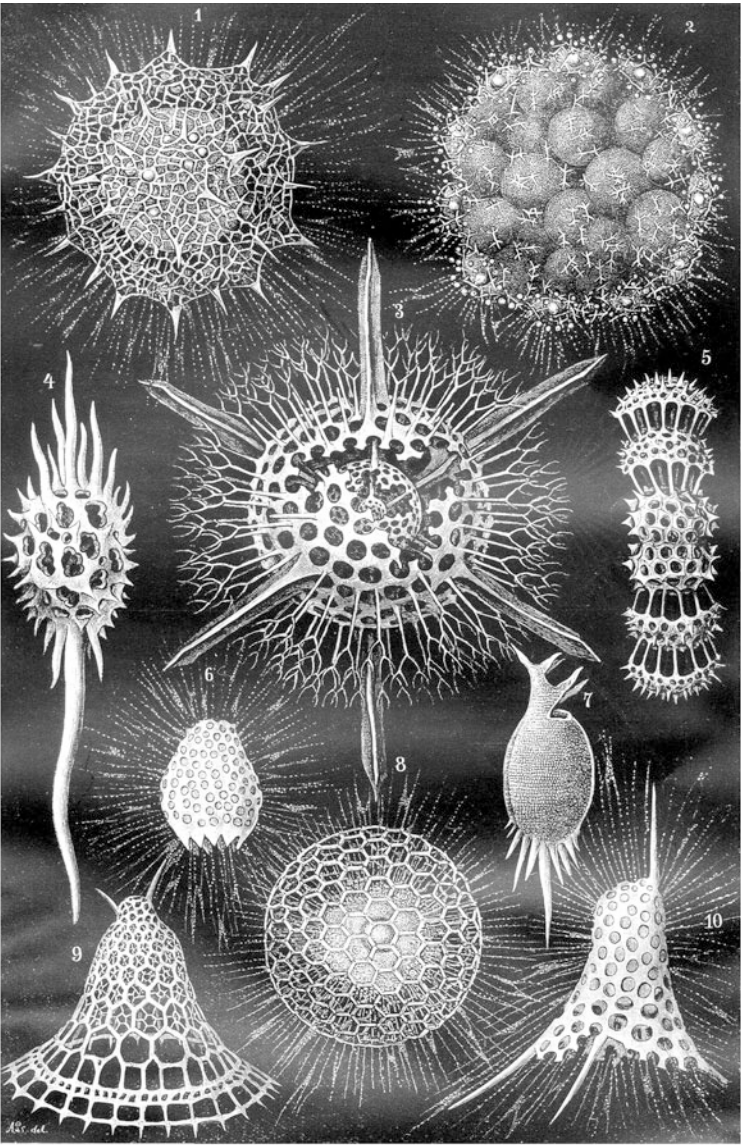
Die fundamentalen Gesetze der Physik und Chemie bestimmen zweifellos auch das Geschehen in den Organismen. Sie reichen aber nicht aus, das Phänomen biotischer Organisation, wie Autonomie, Funktionalität, Teleonomie etc., hinreichend zu erklären. Mit vollem Recht folgerte Werner HEISENBERG (Heisenberg 1959, S. 81) aus seinen Überlegungen über das Lebendige, dass „den physikalischen und chemischen Gesetzmäßigkeiten etwas hinzugefügt werden müsse, bevor man die biologischen Erscheinungen vollständig verstehen“ könne. Die wunderbaren Silikatskelette der Radiolarien, die einst Ernst HAECKEL so begeisterten, bestehen alle aus demselben Stoff. Die artspezifischen „Kunstformen der Natur“ haben ihre Ursachen nicht im Physikalischen oder Chemischen allein,

sind auch keine „kristallinen Arbeiten der Radiolarien-Seele“ (Abb. 2.14), wie HAECKEL spekulierte (Haeckel 1917, S. 67), sondern das Resultat aufeinander abgestimmter Wechselwirkungen des Gesamtsystems Zelle, ihrer internen Organisation. Versuche, „Leben“ auf einfache physikalisch-chemische Prozesse zu „reduzieren“ muss schon deshalb scheitern, weil „Leben“ nicht nur auf Stoff und Energie, sondern auf Stoff, Energie und *Information* beruht. Organismen sind nicht nur thermodynamische, sondern auch kommunikative Systeme.

Das Lebendige repräsentiert eine eigene **ontische Stufe** (s. Abschn. 11.2), deren Entitäten sich durch „emergente“ Eigenschaften (s. Abschn. 11.3) auszeichnen, die sich nicht auf die Eigenschaften ihrer Komponenten reduzieren lassen. Der Biophilosoph Mario BUNGE stellt deshalb mit vollem Recht fest, dass das „stärkste Argument gegen den radikalen Reduktionismus ein ontologisches ist, kein erkenntnistheoretisches“ (Mahner und Bunge 2000, S. 193). Man muss anerkennen, dass sich das Organische durch einen *qualitativen* Sprung vom Anorganischen abhebt, wie groß er auch immer sein mag. Ihn allerdings zu ignorieren, heißt, bestimmte Tatsachen nicht zur Kenntnis nehmen zu wollen. Die mutige Behauptung HAECKELS (Haeckel 1917, S. 38), dass die „traditionelle künstliche Scheidewand zwischen anorganischer und organischer Natur endgültig aufgehoben“ sei, traf schon damals nicht zu, und so ist es bis heute geblieben. Der alte Satz der antiken Philosophie *natura non facit saltus* gilt heute bereits in der Physik nicht mehr und erst recht nicht beim Übergang vom Anorganischen zum Organischen.

Der **radikale Reduktionismus** ist zum Scheitern verurteilt und muss durch einen „moderaten“ (Mario BUNGE; Mahner 2000, S. 111) ersetzt werden. Das bedeutet, die Reduktion dort, wo sie angebracht und nützlich ist, so weit wie möglich voranzutreiben, dabei aber niemals aus dem Auge zu verlieren, dass es Zusammenhänge und Erscheinungen im Bereich des Lebendigen gibt – und das sind nicht gerade die unwichtigsten –, die nur auf der höheren Ebene verstanden und erklärt werden können und sich nicht auf die physikalisch-chemische Ebene unserer Wirklichkeit zurückführen lassen. Deshalb forderte der große französische Physiologe Claude BERNARD bereits 1865 (Bernard 1967): „Die Physiologen müssen [...] immer den Organismus als Ganzes und im Detail zur gleichen Zeit betrachten, ohne jemals die besonderen Bedingungen der vielen speziellen Phänomene, deren Resultante das Individuum ist, aus dem Blick zu verlieren.“ Ein radikaler Reduktionist ignoriert das „Bios“ in der Biologie, wie es der amerikanische Zoologe und Paläontologe George Gaylord SIMPSON einmal formulierte (Simpson 1963, S. 81–88).

Einer der bedeutendsten theoretischen Biophysiker des vergangenen Jahrhunderts, Nicholas RASHEVSKY, startete seine Karriere einst in dem festen Glauben, man könne den Organismus in beliebig viele Teilsysteme aufgliedern und diese versuchen, im Detail mit traditionellen physikalischen Methoden zu verstehen. Die ursprüngliche biologische Organisation, zu der diese Teilsysteme gehörten, würde dann, so seine Meinung, von selbst wieder in Erscheinung treten. Am Ende seines arbeitsreichen Forscherlebens musste er resignierend feststellen, dass das nicht eingetroffen ist. Er warf deshalb die berechtigte Frage auf (Rosen 1991): „Warum beginnen wir nicht mit der Organisation, warum abstrahieren wir nicht von aller Physik und Chemie und beschränken uns auf die reine Organisation,



Kristallinische Arbeiten der Radiolarien-Seele

aus: Ernst Haeckel "Kristallseelen, Studien über das anorganische Leben, Alfred Körner Verlag, Leipzig 1917

Abb. 2.14 Kieselskelette verschiedener Radiolarien. (Aus Haeckel 1917)

die wir formalisieren und in allgemeinen abstrakten Begriffen studieren können?“ Sein Schüler Robert ROSEN ergänzte, „dass der Übergang von der Einfachheit zur Komplexität nicht nur eine technische Angelegenheit ist, die im Rahmen des Newton’schen Paradigmas zu behandeln sei. Komplexität ist nicht bloß Komplizierung, die durch eine andere Anzahl von Dimensionen des Zustandsraumes oder durch ein längeres Rechnerprogramm beschrieben werden müsste, sondern eine ganz neue theoretische Welt mit einer damit verbundenen ganz neuen Physik“ (Rosen 1985, S. 171).

2.14 Die Konzepte einer Lebenskraft (Vitalismus)

Die Galileische Neuorientierung der Wissenschaft am Beginn der Neuzeit, die mit DESCARTES’ Spaltung unseres Weltbilds (s. Abschn. 2.4) einherging und uns ein mechanistisches Weltbild unter Führung der Physik bescherte, war eine Revolte gegen ARISTOTELES. Das hatte zur Folge, dass zeitweilig der Blick für das spezifisch Lebendige, das einst ARISTOTELES zum Mittelpunkt seiner Überlegungen gemacht hatte (s. Abschn. 2.3), in der erfolgreichen Analyse von Einzelprozessen verloren zu gehen drohte. Der Biogehistoriker Emanuel RADEL schätzte mit Recht ein, dass dem Biologen unter der Herrschaft der Mechanik „niemals ganz wohl gewesen“ sei (Radel 1970, S. 156 f.). Der Evolutionsbiologe Ernst MAYR sprach sogar davon, dass der Mechanismus wie „ein Mühlstein um den Hals des Biologen“ gewesen sei (Mayr 1984).

Früh regte sich ernster Widerstand gegen die mechanistische Theorie des Organischen, die mit der Verbannung jeglicher Zweckbetrachtung aus der Naturforschung verbunden gewesen war; ein Prozess, der in der anorganischen Wissenschaft notwendig und nützlich war, aber selbst dort nicht reibungslos ablief. In der Biologie ist es, wie bereits betont, prinzipiell anders. Der durchgängige Tatbestand von Zweckmäßigem im Organischen ist ein Faktum, das nicht mehr bestritten werden kann (s. Abschn. 2.8). Im Protest gegen den alles, also auch das Lebendige, beanspruchenden Mechanismus entstand im 17. Jahrhundert der neuzeitliche **Vitalismus**. Er bestand in der Formulierung besonderer „Prinzipien“, die zu den im Anorganischen uneingeschränkt waltenden Gesetzen hinzutreten und diesen eine Richtung zu geben oder gar außer Kraft zu setzen in der Lage waren. Diese „vitalen Faktoren“, „Kräfte“ oder „Prinzipien“ erhielten in der Geschichte vielfältige Namen und Kennzeichnungen: *spiritus seminalis* (William HARVEY), *anima* (Georg Ernst STAHL), *impetus faciens* (Herrmann BOERHAAVE), *vis vitalis* (Albrecht von HALLER), *nis formativus* (Johann Friedrich BLUMENBACH), *élan vital* (Henri BERGSON), *Entelechie* (Hans DRIESCH) oder „innere Antriebskraft“ (TEILHARD DE CHARDIN).

Ihren ersten Höhepunkt erreicht diese Strömung mit Georg Ernst STAHL. Ihm verdanken wir nach ARISTOTELES erstmalig wieder einen Versuch, der Wissenschaft vom Lebendigen ein theoretisches Fundament zu verleihen, das er in seinem großen Werk *Theoria medica vera* (1708) niederlegte. Diese animistische Lehre STAHLs von der Seele als letzte Ursache, letzter Grund und letztes Ziel aller Lebenserscheinungen fand besonders an der Universität in Montpellier in Frankreich durch Théophile BORDEU, Paul Josef BARTHEZ

und Marie François Xavier BICHAT Beachtung und weiteren Ausbau, während LEIBNIZ zu seinen schärfsten Kritikern gehörte. In der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts im Zusammenhang mit den Auseinandersetzungen zwischen Präformisten und Anhängern der Epigenese (s. Abschn. 10.1) formulierten Caspar Friedrich WOLFF, Johann Friedrich BLUMENBACH u. a. nochmals vitalistische Theorien.

Im Gegensatz zu den Physikalisten wurden die Vitalisten niemals müde, die **besonderen Eigenschaften und Fähigkeiten** lebendiger Wesen, wie ihre Planmäßigkeit (Uexküll 1928), Zweckmäßigkeit (Teleonomie) und Autonomie sowie ihren ganzheitlichen Charakter, hervorzuheben. Noch im Jahre 1936, so schätzte es Max HARTMANN ein, war „die allgemeinbiologische Literatur zum größten Teil vitalistisch eingestellt“ (Hartmann 1937). Hans DRIESCH, der Begründer der von Emil DU BOIS-REYMOND als Neovitalismus bezeichneten Lehre, beginnt sein geistreiches Buch über den Vitalismus (Driesch 1905) mit der durchaus berechtigten Feststellung: „Nicht die Frage, ob Lebensvorgänge das Beiwort zweckmäßig verdienen, macht das Problem des Vitalismus aus, sondern die Frage, ob das Zweckmäßige an ihnen einer besonderen Konstellation von Faktoren entspringe, welche aus den Wissenschaften vom Anorganischen bekannt sind, oder ob es Ausfluss ihrer Eigengesetzlichkeit sei.“ Er beantwortete diese Frage zugunsten der Eigengesetzlichkeit und definierte deshalb den Vitalismus folgerichtig als „die Lehre von der Selbstgesetzlichkeit des Lebendigen“ (Driesch 1928, S. 46 ff.).

Dieser Quintessenz DRIESCHS, dass das Zweckmäßige im Organischen „Ausfluss ihrer Eigengesetzlichkeit“ sei, kann und muss man beipflichten, ohne gleichzeitig ins vitalistische Fahrwasser abgleiten zu müssen, denn wer wollte bestreiten, dass das Organische zu der physikochemischen auch noch eine Eigengesetzlichkeit aufweist. Es besteht allerdings keine zwingende Notwendigkeit, diese Eigengesetzlichkeit auf das Wirken einer *einzig*en, nur dem Lebendigen zukommenden „Kraft“, eines „teleologischen Naturfaktors“ (Entelechie) zurückzuführen. Insofern ist auch der Vitalismus reduktionistisch. Als die „wichtigste ontologische Eigenschaft der Entelechie“ bezeichnete DRIESCH ihre „Fähigkeit zur temporären Suspension anorganischen Geschehens“ (Driesch 1909, Bd. 2, S. 181 f.).

Alle vitalistischen Theorien, gleich welcher Prägung, kommen um zwei **kardinale Fehlschlüsse** nicht herum, weil sie Vitalismus-immanent sind. Sie müssen – erstens – ihren hypothetischen „Vitalfaktor“ mit Eigenschaften ausstatten, um in irgendeiner Weise in die physikalische Gesetzlichkeit gezielt eingreifen zu können (energetisch-physikalischer Aspekt der Vitalismuskritik). Und sie müssen – zweitens – dem Faktor ein Vermögen zugestehen, selbständig beurteilen und entscheiden zu können, was „ihren Zwecken“ entspricht und was nicht (psychologisch-teleologischer Aspekt der Vitalismuskritik), was letztendlich in einen Psychismus und Mystizismus münden muss, wie wir es selbst noch bei Hans DRIESCH beobachten konnten. Die vitalistischen Theorien waren und sind eher Ausdruck unseres Unwissens als Bereicherung unseres Wissens. Mit dem Einsetzen besonderer vitaler Kräfte in das Naturgeschehen wird im Prinzip nichts „erklärt“, sondern das zu erklärende Problem lediglich ins Metaphysische transferiert.

Immanuel KANT hat in der Zweck- und Planmäßigkeit des Organischen „nur ein Prinzip der reflektierenden und nicht der bestimmenden Urteilskraft“ gesehen, sie als „regulativ und nicht konstitutiv“ eingeordnet (Kant 1968, § 67,68; s. Abschn. 2.7). Dagegen erhoben die Vitalisten die Planmäßigkeit zu einer konstitutiven Eigenschaft, womit – nach Einschätzung UEXKÜLLS – die „Schwierigkeit beseitigt“ worden sei (Uexküll 1928, S. 144,199). UEXKÜLL sah in der Planmäßigkeit eine „Naturkraft“, ohne die „die Biologie ein leerer Wahn“ bliebe. Mit diesem entscheidenden Schritt trennte er sich deutlich von KANT, auf den er sich sonst sehr gerne berief. KANT war – entgegen anderslautenden Interpretationen (Ungerer 1922, S. 107) – *kein* Vitalist (Bauch 1917), denn er wehrte sich entschieden dagegen, „absichtlich wirkende Ursachen“ zuzulassen: „Würden wir der Natur absichtlich wirkende Ursachen unterlegen, mithin der Teleologie nicht bloß ein regulatives, [...] sondern ein konstitutives Prinzip der Ableitung ihrer Produkte von ihren Ursachen zu Grunde legen: so würde der Begriff eines Naturzwecks [...] als Vernunftbegriff eine neue Kausalität in die Naturwissenschaft einführen, die wir doch nur von uns selbst entlehnen.“

Es wäre allerdings falsch, wie es oft geschehen ist, die **Rolle der Vitalisten** in der Geschichte der Biologie in Bausch und Bogen zu verdammen. Den Vitalisten gebührt Anerkennung und Dank dafür, dass sie dafür gesorgt haben, dass die Sonderleistungen der Organismen, ihre spezifische Organisation, und dazu gehören Autonomie, Harmonie, funktionelle Zweckmäßigkeit und Planmäßigkeit, niemals ganz aus dem Bewusstsein verschwunden sind, dass das „Bios“ in der Biologie erhalten geblieben ist. Sie haben zwar die im Rahmen der zeitgenössischen Physik und Chemie „fremdartigen“ Wesenszüge der Organismen immer wieder herausgearbeitet und die wichtigen Fragen gestellt, konnten aber keine Antwort anbieten, die der wissenschaftlichen Kritik standhielt. Der Vitalismus kann, wie es Henri BERGSON unter Bezug auf seinen „*élan vital*“ einmal selbstkritisch formulierte, „nicht viel erklären, aber er ist eine Art Etikett auf unser Unwissen, das uns an diesen Sachverhalt erinnern soll, während der Mechanismus uns einläd, unser Unwissen zu ignorieren“ (Bergson 1944).

Die Mechanisten/Physikalisten waren dagegen in ihrer reduktionistischen Analyse kausaler Einzelzusammenhänge außerordentlich erfolgreich und werden es auch weiterhin sein. Während die Vitalisten, die das Wesen des Lebendigen betreffende Fragen stellten, sie aber nicht überzeugend beantworteten, konnten die Physikalisten umgekehrt viele Antworten liefern, die aber nicht das Wesen des Lebendigen tangierten. Es ist sicher kein Zufall, dass der moderne Systembegriff von einem Vitalisten, nämlich von Hans DRIESCH, in die Biologie eingeführt worden ist und von einem anderen Vitalisten, Johannes REINKE, in die „theoretische Biologie“ übernommen wurde (Reinke 1911).

Die Auseinandersetzungen zwischen den Vitalisten und Mechanisten, die sich durch die gesamte neuzeitliche Biologie hindurchziehen, waren insgesamt ziemlich fruchtlos und nahmen nicht selten polemische Züge an. So wurden beispielsweise von Francis CRICK (Crick 1987, S. 121–137) die Vitalisten als Katholiken gebrandmarkt. Heute muss die ganze Kontroverse zwischen Mechanismus und Vitalismus – um es mit den Worten WIENERS (Wiener 1963, S. 81) zu sagen – „in die Rumpelkammer schlecht gestellter

Fragen“ verwiesen werden. Erkenntnistheoretisch haben beide, die Vitalisten ebenso wie die Mechanisten, den Fehler einer unzulässigen Grenzüberschreitung begangen. Die Vitalisten dachten das Lebendige nach Art des menschlichen Denkens determiniert, die Physikalisten nach Art der mechanisch-kausalen Relation. Nicolai HARTMANN schrieb in einem ähnlichen Zusammenhang: „Es ist verführerisch leicht, mit einer bequemen Einheitskategorie das Unbewältigte [...] zu ‚meistern‘, statt den mühevollen Weg langsamer Forschung zu beschreiten, auf dem der Einzelne in seiner Zeit nicht zu Ende kommt“ (Hartmann 1966, S. 22).

Die Organismen sind weder physikalische noch durch eine geheimnisvolle Kraft gesteuerte Automaten, sondern ganzheitlich agierende und reagierende Systeme, die ihre interne Organisation nicht allein durch einen Stoff- und Energiefluss, sondern zusätzlich noch durch einen Fluss intern gespeicherter Informationen selbsttätig aufrechterhalten. Die Biologen müssen unbeirrt ihre volle Aufmerksamkeit den Besonderheiten lebender Systeme widmen und fortfahren in ihrem Bemühen, sie ohne Zuhilfenahme hypothetischer „Faktoren“ (Vitalismus) oder unbrauchbarer, simplifizierender Analogien aus dem Anorganischen (Physikalismus) zu erklären. Dazu müssen sie ihre eigene Systemtheorie entwickeln, in der Begriffe der Organisation, der Integration und Spezifität sowie der informationellen Invarianz eine zentrale Rolle spielen. Die Akzeptanz von Zwecken (Teleonomie) und ganzheitlichem Verhalten in der Welt des Lebendigen widerspricht keiner Kausalforschung, sondern wirft Fragen auf, die jenseits von Vitalismus und Physikalismus im Rahmen einer zukünftigen umfassenden System- und Informationstheorie (theoretische Biologie) gelöst werden müssen, in der nicht die lebendigen, sondern die anorganischen Systeme die Sonderfälle darstellen.

Literatur

- Aristoteles (1995) Über die Seele (*De anima*) Griechisch – deutsch Philosophische Bibliothek, Bd. 476. Felix Meiner Verlag GmbH, Hamburg
- Aristoteles (1959) *De partibus animalium*, dtsh.: Über die Glieder der Geschöpfe. Schöningh, Paderborn
- Atmanspacher H, Primas H, Wertenschlag-Birkhäuser E (1995) *Der Pauli-Jung-Dialog und seine Bedeutung für die moderne Wissenschaft*. Springer Verlag, Berlin
- Ayala FJ (1970) Teleological explanations in evolutionary biology. *Philos of Science* 37:1–15
- Ayala F (1974) Introduction. In: Ayala F, Dobzhansky T (Hrsg) *Studies in the philosophy of biology, reduction and related problems*. Univ. California Press, Berkeley
- Bauch B (1917) *Immanuel Kant*. G J Göschen, Berlin, Leipzig
- Bergson H (1944) *Creative evolution*. The Modern Library, New York
- Bernard C (1967) *An introduction to the study of experimental medicine*. Trans H C Green, New York, Dover
- Bloch E et al (1997) *Pyrolobus fumarii*, gen. and sp. nov., represents a novel group of archaea, extending the upper temperature limit for life to 113 °C. *Extremophiles* 1:14–21

- Bonnet C (1769) *Contemplation de la nature*. Rey, Amsterdam
- Bonnet C (1773) *Abhandlungen aus der Insektologie*. J.J. Gebauer, Halle
- Bünning E (1945) *Theoretische Grundfragen der Physiologie*. G. Fischer, Jena
- Causey RL (1977) *Unity of science*. Reidel, Dordrecht
- Chargaff E (1989) *Unbegreifliches Geheimnis*. Luchterhand Literaturverlag, Frankfurt a. M.
- Chrysipps (1955) *Stoicorum veterum fragmenta II 641 bei Cicero: Über das Wesen der Götter*. Philipp Reclam jun., Stuttgart (II. Buch 37)
- Corsi P (1988) *The Age of Lamarck*. Aus dem Italienischen übers. Von J. Mandelbaum. Calif. Univ. Press, Berkeley
- Craemer-Ruegenberg I (1981) Der Begriff des Naturzwecks bei Aristoteles. In: Poser H (Hrsg) *Form des teleologischen Denkens. Philosophische und wissenschaftshistorische Analysen*. Koll. TU Berlin 1980/81. TUB-Dokumentation, Bd. 11. Technische Universität, Berlin, S 17–29
- Crick F (1966) *Of molecules and man*. Univ. of Wash. Press, Seattle, London, S 10
- Crick F (1987) Die Natur des Vitalismus. In: Küppers B-O (Hrsg) *Leben = Physik + Chemie?*. Piper Verlag, München, Zürich, S 121–137
- Crick F (1994) *The astonishing hypothesis: The scientific search for the soul*. Scribner, New York
- Darwin C (1980) *Die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl*. Philipp Reclam jun., Leipzig, S 216
- Davis BD (1961) Cold Spring Habor Symposium. *Quant Biol* 26:1–10
- Dawkins R (1987) *Der blinde Uhrmacher. Ein neues Plädoyer für den Darwinismus*. Deutscher Taschenbuch Verlag, München
- Dawkins R (1997) *Und es entsprang ein Fluss in Eden*. C. Bertelsmann, München, S 31
- Dean ACR, Hinshelwood C (1959) Automatic adjustment mechanisms in bacterial cells. CIBA-Foundation Symposium on the regulation of cell metabolism. Churchill, London, S 311–328
- Delbrück M (1971) Aristotle-totle-totle. In: Monod J, Borek E (Hrsg) *Of microbes and life*. Columbia University Press, New York, S 50–55
- van Dover CL (2000) *The ecology of deep-sea hydrothermal vents*. Princeton Univ. Press, Princeton
- Driesch H (1905) *Der Vitalismus als Geschichte und als Lehre*. Joh. Ambrosius. Barth Verlag, Leipzig
- Driesch H (1909) *Philosophie des Organischen Bd. 2*. Wilhelm Engelmann, Leipzig, S 181
- Driesch H (1928) *Der Mensch und die Welt*. Reinicke Verlag, Leipzig, S 46
- Eccles JC (1982) *Das Rätsel Mensch*. Ernst Reinhardt Verlag, München, Basel, S 10
- Edelman GM (1995) *Göttliche Luft, vernichtendes Feuer*. Piper Verlag, München, S 7
- Engels E-M (1982) *Die Teleologie des Lebendigen. „Erfahrung und Denken“ Bd. 63*. Duncker & Humbolt, Berlin, S 151
- Feynman RP, Leighton RB, Sands M (1987) *Mechanik, Strahlung, Wärme. Vorlesungen über Physik Bd. 1*. Oldenbourg Verlag, München, Wien, S 53
- Flehtner HJ (1969) *Grundbegriffe der Kybernetik. Eine Einführung*, 4. Aufl. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart, S 289
- Fontius M (1981) *Voltaire F M Erzählungen, Dialoge, Streitschriften*. Rütten & Loening, Berlin
- v Frisch K (1941) *Aus dem Leben der Bienen*, 3. Aufl. Julius Springer, Berlin

- Gotthelf A (1976) Aristotle's conception of final causality. *Rev Metaphysics* 30:226–254
- Gross J (1930) Die Krisis in der theoretischen Physik und ihre Bedeutung für die Biologie. *Biol Zbl* 50
- Haeckel E (1900) Die Welträtsel. Gemeinverständliche Studien über monistische Philosophie, 5. Aufl. Strauß Verlag, Bonn, S 300
- Haeckel E (1917) Kristallseelen. Studien über das anorganische Leben. Alfred Körner, Leipzig
- Haeckel E (1988) Generelle Morphologie der Organismen. Walter de Gruyter, Berlin
- Hartmann M (1937) Philosophie der Naturwissenschaften. Julius Springer Verlag, Berlin
- Hartmann N (1912) Philosophische Grundlagen der Biologie. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, S 88
- Hartmann N (1966) Teleologisches Denken, 2. Aufl. Walter de Gruyter Verlag, Berlin
- Heberer G (1962) Freiheit in der Evolution der Lebewesen. In „Freiheit als Problem der Wissenschaft“. Duncker und Humboldt, Berlin, S 93–108
- Heisenberg W (1959) Physik und Philosophie. Hirzel Verlag, Stuttgart, S 81
- Hentschel E (1929) Das Leben des Weltmeeres. Julius Springer, Berlin
- Höffe O (2005) Aristoteles-Lexikon. Alfred Kröner Verlag, Stuttgart
- Hull DL (1974) Philosophy and biological science. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ
- Inagaki F et al (2006) Biogeographical distribution and diversity of microbes in methane-hydrate-bearing deep marine sediments on the pacific ocean margin. *Proc Natl Acad Sci USA* 103(8):2815–2820
- Jacob F (1972) Die Logik des Lebendigen. Von der Erzeugung zum genetischen Code. S. Fischer Verlag, Frankfurt a M, S 199
- Jahn I (2000) „Biologie“ als allgemeine Lebenslehre. In: Jahn I (Hrsg) Geschichte der Biologie, 3. Aufl. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, S 274–301
- Jonas H (1973) Organismus und Freiheit. Ansätze zu einer philosophischen Biologie. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, S 20
- Jordan P (1955) Schöpfungsglaube und Evolutionstheorie. Eine Vortragsreihe. Alfred Kröner Verlag, Stuttgart, S 109–122
- Jordan P (1957) Das Bild der modernen Physik. Ullstein Bücher, Berlin, S 86
- Jordan P (1958) Die Physik und das Geheimnis des organischen Lebens, 7. Aufl. Vieweg & Sohn, Braunschweig
- Kant I (1790) Kritik der Urteilskraft. Lagarde und Friedrich, Berlin und Libau
- Kant I (1964) Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaften 1786 (Werke in 6 Bänden, Hrsg. W. Weischedel) Neue Insel-Ausgabe Bd. 5. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, S 12
- Kant I (1968) Kritik der Urteilskraft. Verlag Philipp Reclam, Leipzig
- Kepler J (1609) Neue Astronomie, ursächlich begründet, oder Physik des Himmels
- Klaus G (1960) Deutsche Zeitschrift für Philosophie 8:1266–1277
- Klaus G, Buhr M (1969) Philosophisches Wörterbuch, 6. Aufl. Bibliographisches Institut, Leipzig, S 1184

- Kullmann W (1979) Die Teleologie in der aristotelischen Biologie. Aristoteles als Zoologe, Embryologe und Genetiker, 2. Aufl. Heidelberger Akademie der Wissenschaften, Heidelberg, S 1–72 (Sitzungsbericht. Philos.-histor. Klasse)
- Küppers B-O (1986) Der Ursprung biologischer Information. Piper Verlag KG, München
- Laubichler MD (2006) Allgemeine Biologie als selbständige Grundwissenschaft und die allgemeinen Grundlagen des Lebens. In: Hagner M, Laubichler MD (Hrsg) Der Hochsitz des Wissens. Diaphanes Verlag, Zürich, S 185–206
- Laubier L, Desbruyères D (1985) Oases at the bottom of the ocean. *Endeavour* 9:67–76
- Lima-de-Faria A (1990) Evolution ohne Selektion. Form und Funktion durch Autoevolution. In: Jüdes U, Eulefeld G, Kapune T (Hrsg) Evolution der Biosphäre. Hirzel Verlag, Stuttgart, S 105–122
- Lorenz K (1982) Die Rückseite des Spiegels. Deutscher Taschenbuch Verlag, München, S 79
- Mahner M, Bunge M (2000) Philosophische Grundlagen der Biologie. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg
- Marcelroy RD (1974) Some comments on the evolution of extremophiles. *Biosystems* 6:74–75
- Martin W (2009) Hydrothermalquellen und der Ursprung des Lebens. *Biol unserer Zeit* 39:166–174
- Marx-Engels-Werke. Berlin 1957 ff, Bd 30, S 578
- Mayr E (1979) Evolution und die Vielfalt des Lebens. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York
- Mayr E (1984) Die Entwicklung der biologischen Gedankenwelt. Vielfalt, Evolution und Vererbung. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg
- Mayr E (1991) Eine neue Philosophie der Biologie. Piper Verlag, München, Zürich
- Messer A (1918) Geschichte der Philosophie im Altertum und Mittelalter, 3. Aufl. Quelle & Meyer Verlag, Leipzig, S 57
- Mittelstaedt H (1962) Control systems of orientation in insects. *Ann Rev Entomology* 7:177–198
- Monod J (1975) Zufall und Notwendigkeit. Philosophische Fragen der modernen Biologie. Deutscher Taschenbuch Verlag, München
- Moreno A, Umerez J (2000) Downward causation at the core of living organization. In: Andersen PB, Emmeche C, Finnemann NO, Christiansen PV (Hrsg) Downward Causation: Mind, Bodies and Matter. Aarhus Univ. Press, Aarhus, S 99–117
- Moss L (1992) A kernel of truth? On the reality of the genetic program. In: Hull DL, Forbes M, Okruhlik K (Hrsg) PSA 1992, Bd. 1. Philosophy of Science Association, East Lansing, S 335–348
- Oken L (1805) Abriss der Naturphilosophie. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, S 8
- Paley W (1802) Natural theology – or evidences of the existence and attributes of the deity collected from the appearances of nature. R. Fauldner, London
- Penzlin H (1987) Das Teleologie-Problem in der Biologie. *Biol Rundschau* 25:7–26
- Penzlin H (2009) Die theoretischen Konzepte der Biologie in ihrer geschichtlichen Entwicklung. *Naturwissenschaftliche Rundschau* 62:233–243
- Pittendrigh CS (1958) Adaptation, natural selection, and behavior. In: Roe A, Simpson GG (Hrsg) Behavior and evolution. Yale Univ. Press, New Haven, S 390–416
- Pittendrigh CS (1993) Temporal organization: Reflection of a Darwinian clock-watcher. *Ann Rev Physiol* 55:17–54

- Platon (1942) *Timaios und Kritias*. Philipp Reclam, Leipzig, S. 40
- Polkinghorne J (2001) *Theologie und Naturwissenschaften. Eine Einführung*. Gütersloher Verlagshaus, Gütersloh
- Przibram H (1926) *Die anorganischen Grenzgebiete der Biologie*
- Pulte H (1995) Darwin in der Physik und bei den Physikern des 19. Jahrhunderts. In: Engels E-M (Hrsg) *Die Rezeption von Evolutionstheorien im 19. Jahrhundert*. Suhrkamp Taschenbuch Verlag, Frankfurt a M, S 105–146
- Radel E (1970) *Geschichte der biologischen Theorien in der Neuzeit*, 2. Aufl. Bd. 1. Georg Olms Verlag, Hildesheim, New York ((Nachdruck der Ausgabe Leipzig und Berlin 1913))
- Reinke J (1911) *Einleitung in die theoretische Biologie*, 2. Aufl. Verlag Gebrüder Paetel, Berlin
- Riedl R (1981) *Biologie der Erkenntnis. Die stammesgeschichtlichen Grundlagen der Vernunft*, 3. Aufl. Parey, Berlin, Hamburg
- Rose S (2000) *Darwins gefährliche Erben. Biologie jenseits der egoistischen Gene*. Verlag C H Beck, München, S 105
- Rosen B (Hrsg) (1985) *Theoretical biology and complexity*. Academic Press Inc., New York, London, S 171
- Rosen R (1991) *Life itself. A comprehensive inquiry into the nature, origin and fabrication of life*. Columbia University Press, New York
- Rosenberg A (1994) *Instrumental biology or the disunity of Science*. Univ. Chicago Press, Chicago
- Rosenblueth A, Wiener N, Bigelow J (1943) Behavior, purpose, and teleology. *Philosophy of Science* 10:18–24
- Rothschild LJ, Mancinelli RL (2001) Life in extreme environments. *Nature* 409:1092–1101
- Rubner M (1909) *Kraft und Stoff im Haushalt der Natur*. Akad. Verlagsgesellschaft, Leipzig, S 170
- Russell ES (1945) *The directiveness of organic activities*. Cambridge University Press, Cambridge, S 4
- Russell B (2007) *Philosophie des Abendlandes*. Europa Verlag, Zürich, S 225
- Schaefer H (1964) Was kennzeichnet biologische im Gegensatz zu technischen Regelvorgängen? In: *Kybernetik – Brücke zwischen den Wissenschaften*, 4. Aufl. Umschau Verlag, Frankfurt a Main, S 101–103
- Schleifer K-H, Horn M (2000) Mikrobielle Vielfalt – die unsichtbare Biodiversität. *Biologen heute* 6(6):1 ((Whiteman et al 1998, zit.))
- Schleper C, Pühler G, Kühlmorgen B, Zillig W (1995) Life at extremely low pH. *Nature* 375:741–742
- Schoffeniels E (1984) *Anti-Zufall. Die Gesetzmäßigkeit der Evolution biologischer Systeme*. S. Hirzel Verlag, Stuttgart, S 25
- Schopenhauer A (1988) *Die Welt als Wille und Vorstellung Bd. II*. Haffmans Verlag, Zürich
- Schultz J (1929) *Maschinentheorie des Lebens*, 2. Aufl. Hirzel Verlag, Leipzig
- Schumann W (2011) Biotop Mensch. *Biol in unserer Zeit* 41:182–189
- Sershanov WF (1978) *Einführung in die Methodologie der modernen Biologie*. Gustav Fischer Verlag, Jena, S 150
- Simpson GG (1963) Biology and the nature of science. *Science* 139:81–88
- Spiegelberg F (1977) *Die lebenden Weltreligionen*. Insel Verlag, Frankfurt a M, S 105

- Stegmüller W (1969) Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und analytischen Philosophie. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg
- Stetter KO (2006) Hyperthermophiles in the history of life. *Phil Trans R Soc B* 361:1837–1843
- Taub E, Ellman SJ, Berman AJ (1965) Deafferentation in monkeys: Effect on conditioned grasp response. *Science* 151:593–594
- Teilhard de Chardin P (1983) *Der Mensch im Kosmos*, 3. Aufl. Deutscher Taschenbuchverlag, München
- Tembrock G (1980) *Grundriß der Verhaltenswissenschaften. Eine Einführung in die allgemeine Biologie des Verhaltens*, 3. Aufl. G Fischer Verlag, Jena, S 28
- Thomson W (1871) Präsidentenrede auf der Versammlung der British Association in Edinburgh
- Truman JW (1978) Hormonal release of stereotyped motor programmes from the isolated nervous system of the cecropia silkworm. *J Exp Biol* 74:151–173
- v Uexküll J (1928) *Theoretische Biologie*, 2. Aufl. Springer Verlag, Berlin
- Ungerer E (1922) Die Teleologie Kants und ihre Bedeutung für die Logik der Biologie. *Abh z theor Biologie* 14:107
- v Weizsäcker CF (1984) *Die Einheit der Natur*, 4. Aufl. Deutscher Taschenbuch Verlag, München, S 185
- Voltaire FM (1984) *Philosophisches Wörterbuch*, 4. Aufl. Philipp Reclam jun., Leipzig, S 140
- Whitehead AN (1974) *Die Funktion der Vernunft*. Philipp Reclam jun., Stuttgart, S 26
- Whitehead AN (1988) *Wissenschaft und moderne Welt*. Suhrkamp Taschenbuch Verlag, Frankfurt a M
- Wiener N (1963) *Kybernetik. Regelung und Nachrichtenübertragung im Lebewesen und in der Maschine*, 2. Aufl. Econ Verlag, Düsseldorf, Wien

Das Phänomen Leben

Grundfragen der Theoretischen Biologie

Penzlin, H.

2016, X, 479 S. 164 Abb.,

ISBN: 978-3-662-48128-8