

4. Thure von Uexkülls biologisches Denken – im Lichte der *New Science of the Cell* (1), der *Levels of Organizations in the Biological Sciences* (2) und der *New Biology* (3)

›In der Haltung, mit der wir an die Natur herantreten, ist schon begründet, wieweit sie sich uns offenbart schrieb Thure von Uexküll in dem gemeinsam mit seinem Vater vorbereiteten Buch *Der Sinn des Lebens*.‹

Rainer Otte (4:194)

›[...] I feel certain that cells hold a creative potential that genes cannot dream of. Whereas genes provide a substrate for transcription and replication, cells display a broader repertoire of activities in the versatile and complex work of proteins, when sculpting tissues and organs into embryos and fully fledged organisms. It is often asked how such similar genomes can build such different animals as flies, frogs, horses, and humans. However, the real wonder is how the same genome can build such different structures as eyes and lungs in the same organism. Let us give cells their due.‹

Alfonso Martinez Arias (1:301)

›Recently, some philosophers of science involved in the ›new mechanism philosophy‹ have argued for conceptualizing biological hierarchies strictly in terms of composition and constitution. This approach is the latest prominent version of theories of hierarchies that share the assumption that one does not need to address how the levels of organization described in hierarchical models originally came into existence. In fact, it is usually presupposed that levels of organization already exist and do not change in kind. This perspective does not consider that levels in multicellular organisms are built up over developmental time and emerged as qualitative novelties in the evolutionary past.‹

Jan Baedke (5:153)

Baltischer Hintergrund, väterliche Prägung, und Assistentenzeit bei Gustav von Bergmann

Jakob von Uexküll (1864–1944), der Vater Thure von Uexkülls (1908–2004) war im Baltikum aufgewachsen und hatte an der Universität Dorpat (heute: Tartu), Zoologie studiert, der Universität, an der Karl Ernst von Baer (1792–1876) als einer der ersten Embryologen den Vorgang der Befruchtung und die Phasen der Entwicklungsprozesse des befruchteten Eis beschrieben hatte. »Die Philosophie Immanuel Kants' wurde Jakob von Uexküll »seit den Jugendtagen zum entscheidenden Lehrstück.« (4:15). Kant (1724–1804) hatte eine klare Trennungslinie zwischen einer Maschine, die einen Erbauer benötigt, der sie nach seinem Plan konstruiert, und einem Organismus, der als Naturzweck existiert und von sich selbst Ursache und Wirkung ist, gezogen. Kants Philosophie und Karl Ernst von Baers Sicht der Embryonalentwicklung prägten das biologische Denken und Handeln Jakob von Uexkülls mit Betonung einer planmäßigen Selbstorganisation des Organismus und Ablehnung der Evolutionslehren von Darwin und Haeckel nach dem Modell von Mutation und Selektion (5–9).

Dass Thure von Uexkülls Denken entscheidend von seinem Vater Jakob von Uexküll, dem Biologen und Begründer der Umweltlehre, geprägt wurde, steht außer Zweifel (4:15-21). Wie der Medizinjournalist R. Otte, dessen 2001 erschienenes Buch mehrere Interviews mit dem damals 91-jährigen Thure von Uexküll zusammenfasst, berichtet, war der 6-jährige Thure von der Frage seines Vaters: »Wie sieht die Welt des Regenwurms aus? Der Regenwurm kann nicht hören, er kann nicht sehen. Wie sieht seine Welt aus?« (4:27) sehr beeindruckt. Zwar schreibt Otte, dass Thure von Uexküll als Jugendlicher die im Hause Uexküll diskutierten Werke von Kant studiert hat, ob er aber schon im jungen Jugendalter das 1920 erschienene väterliche Buch *Theoretische Biologie* (6) gelesen hat, ist nicht bekannt. Nach dem 1935 abgelegten Staatsexamen arbeitete Thure von Uexküll zunächst im Hamburger Krankenhaus Barmbeck als Assistenzarzt, danach in der Frauenklinik in Berlin und im Krankenhaus Neukölln, bevor er 1939 an der II. Medizinischen Klinik der Charité Assistenzarzt des Internisten Gustav von Bergmann (1878–1955) wurde (4:40-41).

In den letzten Lebensjahren, als sein Vater sich aus gesundheitlichen Gründen wegen eines Herzleidens nach Italien zurückgezogen hatte, hat Thure von Uexküll biologische Themen und zur Veröffentlichung vorgesehene Schriften mit seinem Vater diskutiert (4:59ff) und nach dem Tod einige Manuskripte seines Vaters zur Veröffentlichung gebracht (9–11). In seinem 1953 erschienenen Buch *Der Mensch und die Natur – Grundzüge einer Naturphilosophie* (12) hat er – möglicherweise unter dem Einfluss von Nicolai Hartmann, dessen Philosophie-Vorlesungen er in den Kriegsjahren seiner Assistentenzeit in Berlin besucht hatte (4:54) – die väterliche Sicht der Natur zu aufeinander aufbauenden Schichten des Anorganischen, Organischen, Psychischen und Sozial-Kulturellem dargestellt und zu einer bio-psycho-soziokultureller Sicht des Menschen zusammengefasst – fast 25 Jahre vor George Engels Forderung nach einem bio-psycho-sozialen Menschenbild der Medizin (13).

Thure von Uexkülls gilt neben Viktor von Weizsäcker (1886–1957) als einer der Väter der Psychosomatik in Deutschland. Auf seinen USA-Aufenthalt in psychosomatisch orientierten Kliniken und Instituten (4:94ff), sein Engagement für eine psychosomatische Medizin (14,15), seine Ablehnung einer Integration der Freud'schen Psychoanalyse in die

Innere Medizin, wie dies Viktor von Weizsäcker vorschwebte, kann hier nicht näher eingegangen werden, gleiches gilt für seine Zeit als Direktor der Medizinischen Poliklinik in Gießen (1955–1966) (4:100), für sein Engagement für die Reform des Medizinstudiums und seine Zeit als Leiter der neugegründeten Medizinischen Universitätsklinik in Ulm (1966–1976) (4:123ff). ›Die Emeritierung im Jahr 1976 schien genau zur richtigen Zeit zu kommen, um den Unruhestand für publizistische Offensiven zu nutzen und sich an Werke zu setzen, die während der knapp bemessenen Zeit voller Verpflichtungen nicht hätten entstehen können.‹ (4:135) Als erstes Projekt, das er mit seinen ehemaligen Mitarbeitern und mit Freunden aus dem Ausland in Angriff nahm, war die Herausgabe eines Lehrbuchs der psychosomatischen Medizin (15).

Nachfolgend soll 1. auf die nach seiner Emeritierung erfolgte Zusammenstellung und Herausgabe (1980) des Buchs *Kompositionslehre der Natur* mit den wichtigsten Schriften seines Vaters Jakob von Uexküll (8), 2. auf seine Beschäftigung mit dem *Autopoiesis*-Konzept von H. Maturana und F.J. Varela (16–18), 3. auf die Fundierung seiner zusammen mit W. Wesiak verfassten *Theorie der Humanmedizin* (19) auf der Systemtheorie und der neuen Leitwissenschaft Biologie und 4. auf sein Alterswerk zur Semiotik in der Medizin (20–22) mit seinen eigenen Arbeiten zur Biosemiotik und Endosemiotik (23,24) und Arbeiten anderer (25) ausführlicher eingegangen werden.

Back to the roots – väterliches Protoplasmaproblem versus neue Welt der Gene

Nach der Emeritierung und Fertigstellung des Lehrbuchs der Psychosomatischen Medizin (15) folgte als nächstes Projekt die Herausgabe einer Auswahl der Schriften seines Vaters. Der appellative Titel der Sammlung *Kompositionslehre der Natur. Biologie als undogmatische Naturwissenschaft – Ausgewählte Schriften* (8) spricht für sich und für die Wichtigkeit, die Thure von Uexküll in dieser Aufgabe sah. Beim Lesen der Schriften Jakob von Uexkülls sind seine Beobachtungsgabe, seine Auseinandersetzung mit konträren Meinungen und seine begründete Darstellung der eigenen Position ebenso spürbar, wie die ›apostolische Funktion‹ (Balint) Thure von Uexkülls in seiner knapp 70-seitigen Einleitung zum Buch mit dem Titel *Plädoyer für eine sinndeutende Biologie* (26). Die Aktualität der z.T. über 100 Jahre alten Schriften Jakob von Uexkülls (5,6) ist in einem anderen Beitrag dieses Bands dargestellt. Hier sollen ergänzend einige aktuelle Schlussfolgerungen eines Wissenschaftlers angeführt werden, der sich über 15 Jahre als Genetiker mit Genen und deren Regulation beschäftigt hat und sich danach 25 Jahre embryologischen Methoden und Fragestellungen zuwandte, um das Geheimnis der Embryonalentwicklung zu verstehen (1). Nichts in unseren Genen erklärt, warum das Herz in unserer linken Körperhälfte liegt, warum genetisch identische Zwillinge unterschiedliche Hautrillen an der Fingerkappe (›Fingerabdrücke‹) haben oder wie es möglich ist, dass eine Mutter keine gemeinsame DNS mit ihren beiden Kindern teilt, die sie geboren hat (1).

Nach der Entdeckung der Doppelhelix-Struktur der DNS in 1953 (27) begann der rasante Aufstieg dieses Supermoleküls zum dominierenden Dogma der Biologie. Er führte über das *Human Genome Project* (28) hin zur *Tyranny of the Gene* (29) mit der Gen-fokussierten Sicht einer *Personalisierten Medizin* und Ausblendung sozialer Determinanten von Gesundheit (28,29). Der britische Biologe R. Dawkins hat in seinem 1976 erschienenen Buch *The Selfish Gene* (30) die DNS darüber hinaus zum heimlichen Motor der Evolution

erklärt und Pflanzen und Tiere zu Vehikeln des Siegeszugs der DNS herabgestuft. Dieser Gen- und DNS-zentrierten Sicht der Biologie hat der Genetiker und auf entwicklungsgeschichtliche Fragen fokussierte Biologe Alfonso Martinez Arias eine völlig andere Sicht entgegengestellt. In seinem kürzlich erschienenen, didaktisch klar strukturierten, mit schematischen Abbildungen illustrierten und gut lesbaren Buch *The Master Builder – How the New Science of the Cell is Rewriting the Story of Life* (1) begründet er, dass die (Jahrtausende überstehende) DNS zwar als Speichermedium taugt, aber für sich betrachtet kraftlos und träge ist. Sie benötigt Zellen, um ihre Wunder bewerkstelligen zu können, sei es eine Eizelle und ein Spermiozyt (Aristoteles *ex ovo omnia*) oder Zellen, die miteinander und mit ihrer Umwelt in Interaktion stehen und die Voraussetzung und Anfang jeglichen Lebens sind (Virchows *omnis cellula e cellula*).

Martinez Arias gesteht zwar zu, dass ›Genetics has provided important glimpses into the process of animal and plant development‹, ergänzt aber, ›but we have overstretched what genes can explain.‹ (1:6). ›To do their masterful handiwork, cell use genes, choosing which will or will not be turned on and expressed to determine when and where the products of genes are deployed. An organism is the work of cells. Genes merely provide materials for their work. [...] Our experiments started by trying to understand why cells behave differently in culture versus in embryo. [...] So, something other than genes must be involved in making an embryo. [...] I have come to recognize a creative tension between genes and cells that lies at the heart of biology. [...] Once this first cell came into existence, it began to do things that are not written in DNA. As it multiplied, it created a space in which the emerging cells assumed identities and roles, exchanged information and used their positions relative to each other to build tissues, sculpt organs, and eventually produce a whole organism – you‹ (1:7). In seinem Buch *The Master Builder* beschreibt Martinez Arias a) was Gene sind und wie Dawkins *Selfish Gene* (30) eine realistische Sicht auf Gene verzerrt hat, b) dass Gene stets Zellen benötigen und wie die Beziehungen zwischen Genen und Zelle sind, c) dass wir nicht ein einziges Genom haben, sondern viele und d) was Stammzellen sind, welches Potential embryonale versus gewebespezifische Stammzellen besitzen, welche Erkenntnisse entwicklungsbiologische Untersuchungen der letzten Jahre an Organoiden in Gewebekultur erbracht haben und wohin die weitere Reise gehen könnte.

Bei der Lektüre seiner mit historischen Beispielen untermauerten Darstellung entwicklungsgeschichtlicher Forschungsergebnisse fiel mir auf, dass Martinez Arias die gleichen Autoren und deren experimentelle Befunde anführt, mit denen sich auch Jakob von Uexküll in seinen Schriften auseinandergesetzt hat, wie z.B. Karl Ernst von Baer, Wilhelm Roux, Hans Driesch und Hans Spemann (5–8). Ohne direkt auf Jakob von Uexküll einzugehen, bestätigt Martinez Arias all das, was jener in seinen experimentellen Untersuchungen bei Forschungsaufenthalten am meeresbiologischen Institut in Neapel in den Jahren 1898 – 1913 festgestellt hat (5,6,8). In seiner *Tour d'horizon* berichtet Martinez Arias über Hox-Gene und ihre entwicklungsgeschichtliche Bedeutung und beschreibt detailliert die Gastrulation (1:152–56) als sanduhrartige Engstelle in der Entwicklungsgeschichte aller tierischen Lebewesen (1:151). ›In 1994, Denis Duboule, [...] introduced the notion of a ›developmental hourglass‹ to describe the progression from eggs, in all of their variation among species, to the similarity of early embryos. Duboule noted something curious: von Baers epiphany mapped to the neck of the hourglass,

and this moment corresponds with the time in which Hox genes – those tools used to distinguish different regions of the body axis of all animals – are fully expressed along the head-tail axis in bilateral animals like fish and frogs and us. On either side of the hourglass's neck animal cells can explore organizing themselves into many different shapes and forms, but at the neck, Duboule suggested, they are bound to look the same, because they must use the tools available in the Hox genes as they start to build the animal, and these tools, for same mysterious reason, are absolutely conserved. (1:151). Und einige Zeilen weiter: ›Rather than as a rite of passage, we may think of this as the cells' ›Hox step‹ – a common dance step, like the box step, which is a building block of everything from the waltz to the rumba. But to see the choreography in action, we need to return to the very beginning of the dance, the creation of an animal's first cell, the zygote. (1:152) Die Metapher einer Choreographie in Aktion entspricht Jakob von Uexkülls Metapher der Melodie, die für ihn den *unsterblichen Geist in der Natur* (10) beinhaltet. (Siehe Kapitel 3 in diesem Band). In der Koordination der Gastrulation war für Jakob von Uexküll eine ›chemische Geheimsprache‹ am Werke (5). Louis Wolpert ›suggested that the instructions for the pattern to be built come from some mysterious chemical instructions. (1:165) ›Mulling over how patterns like this come to be, in 1969 he landed on the idea that cells either receive or enact instructions about what they do based on their position within a group of cells. He called this *positional information*. (1:164; 31). Aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisses zufolge steckt diese positionale Information in Konzentrationsgradienten von Substanzen, mittels deren die Zellen mit Ihren Nachbarzellen kommunizieren (32). Martinez Arias schlussfolgert: ›... genes do not provide the cells with any instructions about why that signal means they should move to a certain place, build tissues of a certain size, or take on a certain shape. The genes are agnostic about anything except the protein that will be made after they're copied into RNA, and the genes that are copied are copied because of signals being communicated between cells based on their environment and exchanges with each other. Genes are the instruments of a cell, a literal alphabet from which they instruct their chemical language. They have learned to ›count‹ by measuring the strength of chemical signals. (1:168)

Autopoiesis and Cognition – The Realization of the Living

1976 und 1979 erschienen 2 Bücher zur Biologie, die absolut konträre Sichtweisen zu zentralen Themen der Biologie wie Prinzipien der Evolution und Entstehung des Lebens vertraten: 1976 Dawkins *Selfish Gene* (30) und 1979 Maturanas und Varelas *Autopoiesis and Cognition. The Realization of the Living* (16). Dass Thure von Uexküll das erste nicht beachtete und klar und deutlich auf das zweite der o.a. Themen setzte, hängt zweifellos damit zusammen, dass *Autopoiesis* – wie oben erörtert – an die vom ihm 1980 neu herausgebenden Schriften seines Vaters (8) und an sein dortiges ausführliches Vorwort *Plädoyer für eine sinndeutende Biologie* (26) anknüpfte. Das Thema *Cognition* – oder genauer gesagt die Kombination von *Autopoiesis and Cognition* – knüpfte an konstruktivistisches Denken und das Problem des Beobachters der von ihm geschätzten Autoren Heinz von Foerster (1911–2002) (32,33) und Ernst von Glasersfeld (1917–2010) (34,35) an, die beide einen konstruktivistischen Denkstil pflegten, den er selbst schon in seinem frühen Buch *Der*

Mensch und die Natur – Grundzüge einer Naturphilosophie (12:230ff) vertreten und sein ganzes Leben lang verfolgt hat (4:182).

Maturana (1928–2021) zufolge beinhaltet Autopoiesis eine Organisationsform von Systemen, die Netzwerke der Produktion von Komponenten sind. Das Netzwerk ist dabei zugleich das Ergebnis der Produktion von Komponenten (18). ›Lebende Systeme [...] sind Netzwerke von internen Relationen, die bei Störeinflüssen, das heißt bei strukturellen Perturbationen, Veränderungen durchlaufen. [...] Ihre Struktur ist plastisch, und sie verändert sich zusammen mit den Interaktionen. [...] Diese strukturellen Veränderungen führen dazu, dass das System nach einiger Zeit anders operiert‹ (18:44) – Prozesse, die Heinz von Foerster mit seinem Begriff der *nicht-trivialen Maschine* auf den Punkt gebracht hat (33:343). In der Theorie der Autopoiesis wird die Evolution als Entwicklung von sich selbst produzierenden autonomen Strukturen beschrieben, die so lange existieren, wie sie sich via instruktiver Interaktionen in einem Übereinstimmungsverhältnis mit dem sie umgebenden Medium befinden (18:17), ein Konzept, das der Darwinischen Theorie der natürlichen Selektion zuwider läuft und näher bei Vorstellungen ist, wie sie Karl Ernst von Baer (1792–1876) und Jakob von Uexküll (1864–1944) vertreten haben. Legt man die Mayr'sche Einteilung der Biologie in die grundlegenden Themen Entwicklung, Evolution und Stoffwechsel zugrunde (37,38), dann stellt Maturanas Autopoiesis wissenschaftsgeschichtlich den großen Versuch dar, der in den Jahren nach Watsons und Cricks Aufklärung der DNS-Doppelhelix-Struktur (27) entstandenen entwicklungsgeschichtlichen Gen-Zentrierung der Biologie eine stärker auf Stoffwechsel und evolutionsgeschichtliche Probleme fokussierte Biologie gegenüberzustellen, ein Unterfangen, das mit Jakob von Uexkülls Sicht der Dinge (5–8) übereinstimmte und die volle Unterstützung von Thure von Uexküll fand (26).

Levels of Organization in the Biological Sciences

Das 2021 erschienene Buch *Levels of Organization in the Biological Sciences* (2) fasst die Beiträge zu einem gleichnamigen, 2018 stattgefundenen Symposium zusammen. Wie die Herausgeber im einleitenden Kapitel eingestehen, ist der Begriff *level* ungenau, schillernd und vieldeutig. ›Levels of organizations‹ thus exhibits a curious profile when viewed as a distinctive object of analysis: it is once highly visible, actively figuring widely into scientific and philosophical claims and theories, and yet it resists basic consensus concerning its meaning(s) and significance(s).‹ (2:4) Die Autoren der verschiedenen Beiträge (39–48) wollen die konzeptionelle Variabilität des Begriffs *level* nicht auf einen harten Kern reduzieren, sondern intendieren, Charakteristika ›that reflect the real complexity of hierarchical organization in nature‹ herauszuarbeiten. ›Levels‹ in this approach can be construed as ›cluster kinds‹ rather than kinds defined by essential properties as has been done for other biological concepts.‹ (39:5) Auf die biologietheoretischen und philosophischen Diskussionen des Begriffs *level*, die unterschiedlichen Fokussierungen auf *level*-spezifische hypothetische oder reale Entitäten, Prozesse oder reduktionistische Mechanismen (39–48) soll hier ebenso wenig eingegangen werden, wie auf semantische Abgrenzungen des Begriffs zu anderen Begriffen wie Perspektive (Anatomie, Physiologie, Genetik), zu räumlichen oder zeitlichen Skalen (Masse, Dichte, Volumen; Minuten, Tage, Jahre) oder zu Zuständen (einzellig versus mehrzellig) (40,41).

Ich will lediglich auf Aspekte fokussieren, die Daniel Brooks in seinem Beitrag *Levels of Organization as Tool and Doctrine in Biology* (41) betont und unter den Überschriften fragmentartiger Charakter des Level-Konzepts und doktrinaler Charakter des Level-Konzepts zusammengefasst hat. Unter fragmentartiger Charakter fasst er zum einen die epistemische Rolle zusammen, die mehr oder weniger genauen deskriptiven Beschreibungen biologischer Strukturen oder Organisationsformen, die sich als robust erwiesen haben, eine mögliche ontologische Bedeutung zusprechen will, und zum andern die Rolle eines Schlüsselkonzepts in einer übergreifenderen Debatte und des Eingebettetseins in einen größeren wissenschaftlichen Kontext zusammen. ›The core idea here is that ›levels‹ constitutes a ›fragmentary concept‹, meaning that the expressed meaning of the term in a given instance is composed of semi-independent and mutually explicative subunits of semantic content, which I call *content fragments*.‹ (41:41) – etwas, dessen ›robustness‹ (41:42) sich partiell schon erwiesen hat, das sich aber noch irgendwo im Niemandsland zwischen Hackings *hypothetischen* und *realen Entitäten* (49) befindet und als Art *funktionelle Entität* angesehen werden kann. Der ›doctrinal character‹ des Level-Konzepts beinhaltet die programmatische Bedeutung des Konzepts als organisierendes Prinzip in den biologischen Wissenschaften und als Ordnungsstruktur in Ausbildung und Sichtweisen künftiger Biologen. Eine wissenschaftliche Doktrin muss sich – Brooks zufolge – 2. auf fundamentale Beobachtungen stützen und zentrale Fragen zu beantworten versuchen, sie sollte wegweisend und leitend für künftige wissenschaftliche Anstrengungen sein und sollte 3. einstürzbar, d.h. falsifizierbar, oder zumindest offen für Einschränkungen sein (41:47). Der These folgend, dass ›doctrinal knowledge frequently becomes textbook knowledge‹ (41:48), hat Brooks sich 5 namhafte englischsprachige Lehrbücher der Biologie der Jahre 2015 (erste Auflage), 2016 (zwölfte Auflage), 2017 (2 je elfte Auflage) und 2019 (elfte Auflage) angesehen und festgestellt, dass sie alle den Begriff *level* verwenden, z.T. um in die grundlegende Natur biologischer Phänomene einzuführen und/oder daraus eine Ordnungsstruktur für die Gliederung des Lehrbuchs abzuleiten. Z.T. wird der Begriff *level* zur Betonung der methodischen Rolle des Reduktionismus und zur ontologischen Bedeutung der Emergenz verwendet (41,48). Letzteren Aspekt hatten Thure von Uexküll und W. Wesiak im Auge, als sie 1988 in ihrer *Theorie der Humanmedizin* das Modell einer Systemhierarchie nach George Engel abbildeten (19b:131), das der traditionellen Vorstellung einer kontinuierlichen Reihe immer komplexer werdender Systeme entspricht. Bemerkenswert ist, dass eine systemtheoretische Sicht, wie sie von Ludwig von Bertalanffy (1901–1972) in den 30er Jahren des vergangenen Jahrhunderts entwickelt hat (50), seit etlichen Jahren für eine neue Sicht der Biologie und der Entstehung des Lebens *revitalisiert* wurde (51–55) und aktuell wieder in den Vordergrund philosophischer Diskussionen gerückt ist (1–3), von Thure von Uexküll jedoch bereits 1953 in seiner Fundierung einer Naturphilosophie (12) berücksichtigt ist.

Thure von Uexküll und *The New Biology*

Im Sommer 2023 erschien ein gemeinsames Buch eines Biologen und eines Philosophen mit dem Titel *The New Biology – A Battle between Mechanism and Organicism* (3), das meine Aufmerksamkeit und mein Interesse weckte. Die wissenschaftliche Revolution, be-

ginnend mit Copernicus und endend mit Newton, war – wie die Autoren im Vorwort ihres Buches schreiben (3:1) – vor allem ein Wechsel in dem, was Linguisten als *root metaphors* bezeichnen und was Thomas Kuhn (1922–1996) als *Paradigma* bezeichnet hat (56), ein Wechsel weg von der Sicht der Welt als Organismus hin zur Sicht der Welt als Maschine. Die in Antike und Mittelalter dominierende ganzheitliche Sicht des *organicism* sah irdische Entitäten und den gesamten Kosmos als funktionierende Ganzheiten, während die wissenschaftliche Revolution seit der Renaissance und der Neuzeit Entitäten als aus analysierbaren Teilen zusammengesetzt ansah, eine Sicht, die als *reductionism* bezeichnet wird. Wie die Autoren in ihrem historischen Rückblick ausführen, gab es in den verschiedenen Epochen zwar ein dominierendes Paradigma, gegenteilige Positionen verschwanden jedoch nie vollständig, sondern flammten immer wieder auf, wie das auch der große Biologe Ernst Mayr (1904–2005) beschrieben hat (38). Es war insbesondere Charles Darwins (1809–1882) Sicht, dass die treibenden Kräfte der Evolution der Zufall und die natürliche Selektion darstellen, eine Sicht, die leidenschaftliche Vertreter (wie Ernst Haeckel u. a. m.), aber auch entschiedene Gegner hatte. Die Debatte zwischen Mechanismus/Reduktionismus und Organizismus/Holismus ist letztlich bis heute nicht definitiv geklärt. Sie schwankte in den vergangenen 150 Jahren zwischen Phasen, in denen sie latent im Hintergrund blieb, und Phasen, in denen sie virulenter in den Vordergrund gerückt war (3,38;57:233–78). In der Debatte um *levels of organization* dominiert eine mittlere, koexistente Sicht von Mechanismus und Holismus mit Dominanz mechanistischer Erklärungen innerhalb eines jeweiligen *levels* und organismischen Erklärungen (Emergenz) zwischen verschiedenen *levels* (2).

Reiss und Ruse zufolge bildet die Schnittstelle zwischen evolutionsgeschichtlicher und entwicklungsgeschichtlicher Biologie (*evo-devo*) den wesentlichen Teil des Epizentrums der *New Biology* (3:2). Ihrer Meinung nach ist es vor allem die Systemtheorie, die als Ebene der Analyse das System als Ganzes (die ganze Zelle oder das ganze Ökosystem) in den Blick nahm, anstatt nur auf einzelne Komponenten zu fokussieren, die das Dilemma der Biologie offensichtlich machte. Viele biologische Phänomene können mit reduktionistischen Erklärungen nicht adäquat verstanden werden und benötigen physikalische und mathematische Modelle, um die komplexen zugrundeliegenden Prozesse z. B. bei Fließgleichgewichten verständlich zu machen (50). Reiss und Ruse verweisen als Beispiele auf die neuronale Plastizität, die Quantenmechanik und die Chaostheorie (3:3).

Dies alles ist jedoch nicht sonderlich neu. Thure von Uexküll hat schon in seinem 1953 erschienenen Buch zur Naturphilosophie die Arbeiten von L. von Bertalanffy zur Fließgleichgewichten verwiesen und die Systemtheorie sowohl in dem von ihm herausgegebenen Lehrbuch der psychosomatischen Medizin (15) als auch in seiner zusammen mit W. Wesiak verfassten *Theorie der Humanmedizin* (19) zur Grundlage einer bio-psycho-sozialen Sicht des Menschen gemacht (58). Anders als Reiss und Ruse, die die Schnittstelle zwischen evolutionsgeschichtlicher und entwicklungsgeschichtlicher Biologie (*evo-devo*) ins Zentrum der *New Biology* (3:2) rücken, macht Thure von Uexküll den Wechsel vom mechanistischen Weltbild des 19. Jahrhunderts hin zu einer systemtheoretischen und ganzheitlichen Sicht an der Umweltlehre seines Vaters Jakob von Uexküll fest. In der *Theorie der Humanmedizin* heißt es: ›Für die Umwelttheorie Jakob von Uexkülls ist die Umgebung eines Lebewesens weder die physikalisch-chemische Außenwelt noch die Biosphäre, und sein Organismus ist weder mechanisch noch physiologisch definierbar. Umge-

bung und Organismus lassen sich vielmehr erst aufgrund der Beziehungen definieren, die zwischen ihnen bestehen. Diese Beziehungen können nach dem Modell des Funktionskreises beschrieben werden, in dem *Merken* und *Wirken* ineinandergreifen und sich gegenseitig ständig neu definieren. Es handelt sich um einen kreisförmigen Prozess, in dem die Sinnesorgane oder Rezeptoren durch *Merken* einem Ausschnitt ihrer Umgebung eine Bedeutung erteilen, die den Bedürfnissen eines Lebewesens entspricht. [...] sie interpretieren ihre Umgebung für den Gebrauch der jeweils zuständigen Effektoren. (19b:65) ›J. von Uexküll hat das auf die Formel gebracht, dass die *Wirkzeichen* (der Effektoren) die *Merkzeichen* (der Rezeptoren) auslösen, und damit das Prinzip des Regelkreises mit negativer Rückkopplung beschrieben, das 23 Jahre später durch Wiener mathematisch formuliert wurde. (19b:66)

Die Umweltlehre geht also davon aus, dass ein Lebewesen von seiner Umgebung nur das *merkt*, was ihm seine Sinnesorgane (Rezeptoren) vermitteln, und dass es nur mit solchen Umgebungsfaktoren in Interaktion treten kann, auf die seine Bewegungs- oder sonstigen *Wirk*-Organe (Effektoren) einwirken können. Jedes Lebewesen macht daher mit seinen *Merk*- und seinen *Wirk*-Organen aus der physikalisch-chemischen oder biologischen Umgebung einen seiner Art entsprechenden Ausschnitt – seine *Umwelt*. (19b:66), seine *subjektive* Umwelt.

Reiss und Ruse verweisen auf Aristoteles, der schon in seiner Metaphysik darauf hinwies, dass das Ganze mehr ist als die Summe seiner Teile. Diese Einsicht liegt der ganzheitlichen, organistischen Sicht der Dinge zugrunde, eine Einsicht, die beinhaltet, dass ein rein reduktionistischer Ansatz nicht in der Lage ist, Bau, Funktionen und Aktionen eines Organismus zu erklären. Ein populärer Begriff, der in diesem Zusammenhang auftaucht, ist der der *Emergenz*, der verständlich machen soll, dass beim Zusammenfügen und Zusammenhalten eines Ganzen neue Eigenschaften und neue Kräfte auftreten, die bei keinem der Komponenten des Ganzen und keinem der Subsysteme eines neuen, umfassenderen Systems beobachtet werden. Uexküll verwendet in deutschsprachigen Arbeiten nicht den Begriff *levels of organization*, sondern spricht von ›Gliederung in System- bzw. Integrationsebenen (19b:84), in einer englischsprachigen Publikation von einer ›hierarchy of different levels of integration, based on the formation of increasingly complex systems (59:162). Der heuristische und ordnungsstiftende Wert eines solchen Konzepts für eine ganzheitliche Sicht der Biologie ist letztlich derselbe und steht im Gegensatz zur reduktionistischen Sicht von Organismen als Maschinen. Die systemtheoretische Sicht verschiedener biologischer Ebenen und die Tatsache der Emergenz neuer Eigenschaften bei Auftreten komplexerer Systeme beschreibt er mit den Worten: ›Die Systemtheorie hat das Modell einer hierarchisch gegliederten Ordnung entwickelt, in der immer wieder einfachere Systeme (z. B. Zellen) als Elemente oder Sub-Systeme in komplexere Einheiten (z. B. Gewebe oder Organe) integriert werden. (19b:84) [...], dass ein Ganzes (ein System) mehr ist als die Summe seiner Teile. Diese Feststellung besagt, dass mit der Bildung eines Systems sprunghaft, unvorhersehbar und von den Eigenschaften der Elemente unableitbar neue Eigenschaften auftreten; Eigenschaften, die es auf der Ebene der Elemente oder Subsysteme nicht gibt. Diese Tatsache hat man als *Emergenz* beschrieben. (19b:84) Diese systemtheoretische Perspektive ist für Thure von Uexkülls Sicht der Biologie grundlegend. Die biologietheoretischen Diskussionen um das Konzept der *levels of organization* (39–48) hätten ihn aus erkenntnistheoretischen und na-

turphilosophischen Gründen sicherlich interessiert – wenn vielleicht auch nicht in der Detailtiefe –, im Grunde jedoch war eine auf einer Gliederung in System- bzw. Integrationsebenen beruhende Sicht der Lebenswissenschaft Biologie für ihn selbstevident. Schon in seinem Buch *Der Mensch und die Natur – Grundzüge einer Naturphilosophie* (12) hat er auf Aristoteles und das auf ein Ziel Verweisende an der aristotelischen *causa finalis* hingewiesen (12:110ff), das unserem neuzeitlichen, auf die *causa materialis* fixiertem Denken fremd ist (57).

Reiss und Ruse sehen die Entwicklung der klassischen Biologie hin zu dem, was sie als *New Biology* bezeichnen, als ›more than ›just the facts‹ (3:83), als ein Paradebeispiel für das, was T. Kuhn als einen Paradigmenwechsel (56) bezeichnet hat, als fundamentale Änderung der Sicht der Welt, weg von der Maschinen-Metapher, der reduktionistischen Herangehensweise, hin zur Organismus-Metapher und der ganzheitlichen Herangehensweise. Darwin und die Neo-Darwinisten, von Reiss und Ruse als die *Standard Evolutionary Theory (SET) supporters* bezeichnet (3:68), stehen für eine ideologiefreie evolutionäre Entwicklung nach dem Maschinen-Modell der klassischen physikalischen Wissenschaft, während die *Extended Evolutionary Synthesis (EES) supporters* für ein ›ongoing concept for integrating the theoretically relevant concepts that have arisen from multiple fields of evolutionary biology‹ plädieren (3:69). ›The New Biologists have three main points of discontent with old ways of thinking (SET). The first focuses on evolutionary development biology. The second on development plasticity. The third on niche construction theory.‹ (3:69)

Darwin wusste noch nichts von Gregor Mendels (1822–1884) Studien zur Vererbung und dem später geprägten Begriff der Gene. Anfang der 80er Jahre des vergangenen Jahrhunderts hatte der namhafte Biologe Ernst Mayr auf Lücken in der Evolutionstheorie und ungeklärte biologische Probleme hingewiesen (37). Die entstandene Molekularbiologie half zwar, die *black box* der Gene partiell zu öffnen, aber auch in der sich entwickelnden neuen Subdisziplin der evolutionären Entwicklung, der ›evo-devo‹, blickte man eher auf isolierte Dinge als darauf, welche Funktion sie haben und wie sie wirken. Die Frage, ob Ähnlichkeiten zwischen Species ausschließlich durch externe Faktoren bestimmt werden, oder auch oder gar eher durch interne Faktoren, veranlasste *EES supporters* zu vergleichenden entwicklungsgeschichtlichen Untersuchungen z. B. an Fischen in verschiedenen Seen Tananikas (3:70). ›Such repeated parallel evolution is generally attributed to convergent selection. However, inherent features of development may have channeled morphology along specific pathways, thereby facilitating the evolution of parallel forms in the two lakes.‹ Das, was hier als Kanalisierung entlang spezifischer Wege bezeichnet wird, hat Terrence Deacon in seinem Buch *Incomplete Nature* (60) als *Restriktionen* bezeichnet, die via morphogenen Feldern und biochemischen Einflüssen die Optionen der Entwicklung von Organismen einschränken und steuern. Und Alfonso Martinez Arias untermauert dies anhand Duboules sanduhrartiger Engstelle in der Entwicklungsgeschichte aller tierischen Lebewesen (1:151) und anhand zahlreicher entwicklungsgeschichtlicher Befunde und experimentellen Ergebnissen zu Organoiden in Zellkultur (1:211ff).

Der zweite Punkt von Reiss und Ruses ›discontent with old ways of thinking (SET)‹, die *development plasticity*, fokussiert auf ›the capacity of an organism to change its phenotype in response to the environment.‹ (3:70) – einen Punkt, dem Aristoteles noch keinerlei

Bedeutung beigemessen hatte: die Rolle der Umwelt und des Kontextes, in dem ein Handeln bzw. eine Entwicklung abläuft und die möglichen Einflüsse, die sie auf Handeln und Entwicklung nehmen kann. Diesen Aspekt hat Martinez Arias in seiner *new science of the cell* (1) herausgearbeitet und kommt zu dem Schluss, dass sie – nach dem Jahrhundert der Gene – »is rewriting the story of life« (1).

Der dritte Reiss' und Ruse'sche »discontent with old ways of thinking (SET)« beinhaltet die *Theorie der Nischenkonstruktion*, »the process whereby the metabolism, activities and choices of organisms modify or stabilize environmental states, and thereby affect selection acting on themselves and other species.« (3:71). Wenn der Theorie der Nischenbildung zufolge der Organismus ein aktiver Bildner und Gestalter seiner Umwelt ist, kann er selbst bzw. durch seine Aktivitäten den Selektionsdruck der Umwelt verändern. Die Selektion spielt dann zwar weiterhin eine Rolle, der Organismus ist jedoch »an active player in the process« (3:71). In seinem Buch *Mind in Life* – von Reiss und Ruse nicht berücksichtigt – hat Thompson (61) bei der Diskussion der Theorie der Nischenkonstruktion auf Jakob von Uexküll verwiesen und ihn als frühen Vertreter der enaktivistischen Sicht aktiv gestaltender Tätigkeiten von Organismen gesehen (61:59).

Abbildungen 1 und 2 geben schematisch die unterschiedlichen Sichtweisen der Evolution wieder. Den Darwinisten (*SET supporters*) zufolge beruht die Evolution auf zufälligen Mutationen in den Genen von Organismen und den ungerichteten Kräften der natürlichen Selektion, die das Überleben des Fittesten begünstigen. Sie vertreten das Konzept einer programmierten Entwicklung, top-down und unidirektional von den Gegen gesteuert (Abb. 1).

Abb. 1: *Genom-gesteuerte programmierte Entwicklung in der Sicht von Neo-Darwinisten (modifizierte Abb. der Figure 3.2.A aus Reiss und Ruse: The New Biology (3:75)).*

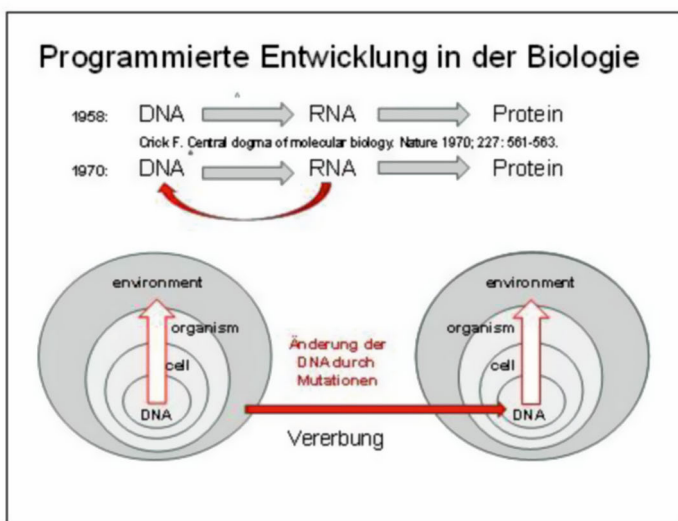
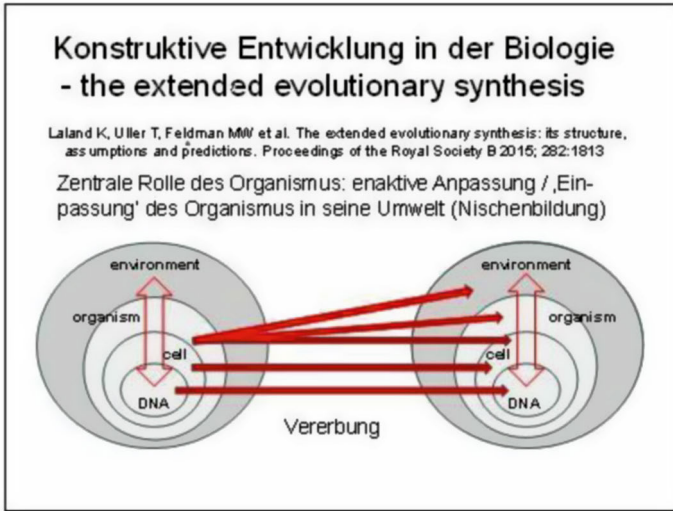


Abb. 2: Konstruktive Entwicklung in der Biologie: enaktive Einpassung des Organismus in seine Umwelt (modifizierte Abb. der Figure 3.2.B aus Reiss und Rose: *The New Biology* (3:75)).



›By contrast, in the EES, genes and genomes represent one of many resources that contribute to the developing phenotype. Causations flows both upward from lower levels of biological organization, such as DNA, and from higher levels downwards, such as through tissue- and environment-specific gene regulation. Exploratory and selective processes are important sources of novel and evolutionary significant phenotypic variation. Rather than containing a ›program‹, the genome represents a component of the developmental system, shaped by evolution to sense and respond to relevant signals and to provide materials upon which cells can draw.‹ (3:74)

›Darwinism (SET) sees variation as random, meaning nondirected, and all change comes from the external pressures of natural selection.‹ (3:75) ›The EES is [...] characterized by the central role of the organism in the evolutionary process, and by the view that the direction of evolution does not depend on selection alone and need not start with mutation... As a consequence, the EES predicts that organisms will sometimes have the potential to develop well-integrated, functional variants when they encounter new conditions, which contrast with the traditional assumption of no relationship between adaptive demand and the supply of phenotypic variation.‹ (3:75)

Die Autoren der *New Biology* gehen der Frage nach, warum und wie Maschinen-fixierte Denker ihre Position verteidigen und warum Organismus-fokussierte Denker diesen Ansatz zurückweisen und für eine andere Herangehensweise plädieren. Ihrer pragmatischen Argumentation zufolge machen *SET supporters* das, was Kuhn als normale Wissenschaft bezeichnet (56), sie lösen Probleme so, wie man Puzzles löst, indem man Einzelteile passend aneinanderlegt. Puzzles können – wenn alle Einzelteile bekannt sind und auf dem Tisch liegen – mit Geduld und *trial and error* immer gelöst werden. Organismus-fokussierte Denker verstehen unter Probleme lösen jedoch etwas anderes, sie

wollen – wenn man so will – wissenschaftliche ›Brocken‹ in Lösung bringen, was jedoch im Gegensatz zu Puzzles nicht immer gelingt (3:85). Reiss und Ruse zufolge besteht im wirklichen Leben eine breite Überlappung zwischen reduktionistischen *SET supporters* und holistischen *EES supporters*. Keine Seite leugnet die Evolution der Hominiden, die Entwicklung hin zum aufrechten Gang, die Ausdehnung des *hunter-gatherer*-Lebens in die Savanne, die Größenzunahme des Gehirns, die Assoziation zu größeren Gruppen, die Entwicklung der Sprache, die Sesshaftwerdung und religiöse Praktiken. Natürlich gebe es unzweifelhaft unterschiedliche *Interpretationen*, man solle die Bedeutung unterschiedlicher Interpretationen jedoch nicht überbetonen. ›If, for example, traditional Darwinians, SET supporters, can give an explanation of niche construction, so be it. It doesn't destroy the point, that organisms can now be seen to control their destiny, as it were, and that is precisely the point of the organicist. If, to give another example, molecular biology can now explain development from a mechanistic perspective, this confirm organicism! It is now being seen that the organism itself, through its development, makes a significant contribution to ongoing evolution. It is not sola natural selection. The whole point of the debate is that it is about different paradigmas, different metaphors, different ways of looking at the world. The same facts can be interpreted in different ways.‹ (3:86) In ihrem Bemühen, die holzschnittartige Gegenüberstellung von an Mechanismen interessierte Forscher und von auf Organismen fokussierte Forscher aufzuweichen und die Positionen anzunähern, führen sie historische Beispiele von Personen an, die beide Positionen vertreten haben. Thure von Uexküll hat bei seiner Gliederung in System- bzw. Integrationsebenen stets bidirektionale Einwirkungsmöglichkeiten in Betracht gezogen, er spricht von Aufwärtseffekten (*upward effects*) und Abwärtseffekten (*downward effects*) (59:162) – nicht von *downward causation* wie einzelne Vertreter des *Levels of organization*-Konzepts (39–48) – und differenziert den Begriff Kausalität in eine naturwissenschaftliche Kausalität, d.h. das Erzeugen von Wirkungen durch Ursachen (19b:48ff), und eine semiotische oder veranlassende Kausalität, die über Zeichen, die verstanden werden, Antworten hervorruft (19b:55).

Revolution unserer Erkenntnistheorie im 20. Jahrhundert

Reiss und Ruse haben in ihrer *New Biology* nur die Biologie im Fokus, während Thure von Uexküll und Wolfgang Wesiak in ihrer *Theorie der Humanmedizin* (19) schon in der Einleitung umfassender und tiefer gehender von einer ›Revolution unserer Erkenntnistheorie im 20. Jahrhundert‹ (19b:4) sprechen. Sie schreiben: ›Mitte des 19. Jahrhunderts wurde die Physik zur ›Grundlagenwissenschaft der Naturwissenschaften‹, die den Zugang zu ›der Realität des objektiven Seins‹ der Dinge erschließen sollte. Seitdem wurde die Medizin eine ›angewandte Wissenschaft‹, d.h. eine Disziplin, die ihre erkenntnistheoretischen Grundlagen von der Physik bezog.‹ (19b:4) und zitieren F. Cramer (62): ›In den letzten Jahren haben sich – auch von der wissenschaftlichen Öffentlichkeit meist unbenutzt – einige grundlegende Paradigmenwechsel vollzogen, die damit zusammenhängen, dass die Physik als Leitwissenschaft der Naturwissenschaften allmählich abgelöst wird durch Biologie und Medizin.‹ (19b:4) Im Laufe des zu Ende gegangenen Jahrhun-

derts haben sich – Uexküll und Wesiak zufolge – in 3 Disziplinen wissenschaftliche Revolutionen im Sinne von Thomas Kuhn ereignet:

1. In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts entdeckte die **Quantenphysik** statt des Zugangs zur Realität des objektiven Seins das *Beobachterproblem* und d.h. nach N. Bohr und W. Heisenberg die Tatsache, dass der Beobachter das beobachtete Phänomen in eine Form bringt, die seiner Fragestellung und seinen Möglichkeiten einer Beantwortung entspricht.
2. In der **Biologie** hatte J.v. Uexküll aufgrund seiner experimentellen Untersuchungen an niederen Organismen die These aufgestellt, dass Lebewesen in einer *subjektiven*, von ihren Rezeptoren für ihre Verhaltensweisen geschaffenen »artspezifischen Umwelt« leben, H.v. Foerster formulierte diese Feststellung allgemein als die Formel, dass Lebewesen »beobachtenden Systeme« sind, die ihre Umgebung für ihre Bedürfnisse und die Möglichkeiten ihres Verhaltens »in-Form-bringen«. Für Bateson bestehen daher »Einheiten des Überlebens« aus »Organismus und Umwelt.«
3. Für die **Psychologie** stellte Piaget fest, dass die *Abbildungstheorie*, nach der Beobachtung in einer möglichst genauen Wiedergabe der Umgebung bestehen soll, *allen Entwicklungsstufen der Intelligenz widerspricht*. Wahrnehmung ist kein passiver, sondern ein aktiver und kreativer Prozess, der Umgebung für die Bedürfnisse und Verhaltensmöglichkeiten des Subjekts »in-Form-bringt«. (19b:5-6)

Diese erkenntnistheoretischen Revolutionen, das Beobachterproblem, die Umwelt-Organismus-Interaktionen und die Entwicklungsstufen der Intelligenz, prägten bei Thure von Uexküll nicht nur seine Sicht der Biologie als Leitwissenschaft für eine bio-psycho-soziale Medizin – eine Sicht der Biologie, die auch mehr als 30 Jahre nach Publikation der *Theorie der Humanmedizin* (19) unverändert aktuell und auf der Höhe der Zeit ist. Mit der darüber hinausgehenden Einbeziehung der Peirce'schen Semiotik (63–65) in seinem Alterswerk erweiterte er sein *Plädoyer für eine sinndeutende Biologie* (26) aus dem Jahre 1980 über eine semiotische Sicht des Leib-Seele-Problems (59) (1986) zu einer umfassenden naturphilosophischen Sicht und stellte in der *Theorie der Humanmedizin* (19) einer naturwissenschaftlichen Kausalität, die Wirkungen verursacht, eine semiotische Kausalität, die auf Zeichen Antworten veranlasst, zur Seite (19b:55). Die Kombination von soliden biologischen Kenntnissen mit väterlich an Kant geschultem und später in Auseinandersetzung mit C.S. Peirce' Schriften vertieftem naturphilosophischen und wissenschaftstheoretischen Denken hat ihn im Alter zu einer semiotischen Theorie des Lebendigen gebracht (59). Seine systemtheoretische und semiotische Sicht der menschlichen Natur hat er – 90-jährig – in Buchbeiträgen zur Biosemiotik (24) und Endosemiotik (25) erörtert und dargestellt. Andere haben etwa zur gleichen Zeit semiotisches Denken bis auf die Molekularbiologie ausgedehnt und von einem »molekularen Vitalismus« gesprochen (66). Andreas Weber hat das Autopoiesis-Konzept von Maturana und Varela mit der Semiotik verknüpft und in einem lesenswerten Buch *Natur als Bedeutung. Versuch einer semiotischen Theorie des Lebendigen* (67) zusammengefasst.

Mein kurzes Facit lautet: Thure von Uexkülls biologisches Denken war stets und ist auch aktuell absolut *up to date* und seine stets *bottom-up- und top down*-Perspektiven

berücksichtigenden Gedanken zu einem naturwissenschaftlich fundiertem humanen Menschenbild der Medizin sind unverändert aktuell.

Literatur

1. Arias AM. The Master Builder – How the New Science of the Cell is Rewriting the Story of Life. London: Basic Books; 2023.
2. Brooks DS, DiFrisco J, Wimsatt WC (eds.). Levels of Organization in the Biological Sciences. Cambridge MA: The MIT Press, Vienna Series in Theoretical Biology; 2021.
3. Reiss MJ, Ruse M. The New Biology – A Battle between Mechanism and Organicism. Harvard University Press; 2023.
4. Otte R. Thure von Uexküll – Von der Psychosomatik zur Integrierten Medizin. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht; 2001.
5. von Uexküll J. Umwelt und Innenwelt der Tiere. Berlin: Julius Springer, 1921. Nachdruck: London: Forgotten Books, FB & c Ltd, Dalton House; 2015.
6. von Uexküll J. Theoretische Biologie. Julius Springer, Berlin, 1928. Nachdruck: Frankfurt: Suhrkamp Verlag, suhrkamp taschenbuch wissenschaft stw 20; 1973.
7. von Uexküll J, Kriszat G. Streifzüge durch die Umwelten von Tieren und Menschen. Ein Bilderbuch unsichtbarer Welten. Bedeutungslehre. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Verlag, Rowohlts Deutsche Enzyklopädie rde 13; 1956.
8. von Uexküll Th. (Hg.) von Uexküll J. Kompositionslehre der Natur. Biologie als undogmatische Naturwissenschaft. Ausgewählte Schriften. Frankfurt a.M.: Propyläen/Ullstein Verlag, 1980.
9. von Uexküll J, von Uexküll Th. Die ewige Frage. Biologische Variationen über einen platonischen Dialog. Hamburg: Christian Wegner Verlag; 1944.
10. von Uexküll J. Der unsterbliche Geist in der Natur. Gespräche. Hamburg: Christian Wegner Verlag; 1947.
11. von Uexküll J. Das allmächtige Leben. Hamburg; Christian Wegner Verlag; 1950.
12. von Uexküll T. Der Mensch und die Natur – Grundzüge einer Naturphilosophie. München: Leo Lehnen Verlag, Sammlung Dalp 13; 1953.
13. Leiß O. Thure von Uexküll. Der Mensch und die Natur – Grundzüge einer Naturphilosophie – 1953 und heute. In: Leiß O. Konzepte und Modelle Integrierter Medizin – Zur Aktualität Thure von Uexkülls (1908–2004). Bielefeld: transcript, Medical Humanities Band 8; 2020: 38–65.
14. von Uexküll T. Grundfragen der psychosomatischen Medizin. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch-Verlag, rowohlts deutsche enzyklopädie rde 179/180; 1963.
15. von Uexküll T. (Hrsg) unter Mitarbeit von R. Adler, J.M. Herrmann, K. Köhle, O. Schonecke und W. Wesiak. Lehrbuch der Psychosomatischen Medizin. München/Wien/Baltimore: Urban & Schwarzenberg; 1979.
16. Maturana HR, Varela FJ. Autopoiesis and Cognition. The Realization of the Living. Boston: D. Reidel, 1979.
17. Maturana HR, Varela FJ. The Tree of Knowledge. Boston: New Science Library 1987. Deutsch: Maturana HR, Varela FJ. Der Baum der Erkenntnis. Bern/München/Wien: Scherz, 1987.

18. Riegas V, Vetter C. Gespräch mit Umberto R. Maturana. In: Riegas V, Vetter C (Hg.) Zur Biologie der Kognition. Ein Gespräch mit Umberto R. Maturana und Beiträge zur Diskussion seines Werkes. Frankfurt: Suhrkamp Verlag, suhrkamp taschenbuch wissenschaft 850; 1990: 11–90.
19. von Uexküll T, Wesiack W. Theorie der Humanmedizin. Grundlagen ärztlichen Denkens und Handelns. München – Wien: Urban & Schwarzenberg, a) 1. Auflage 1988, b) 3. überarbeitete Auflage; 1998.
20. von Uexküll T. Signs, symbols, and systems. *Semiotica* 1979; 487–492.
21. von Uexküll T. Semiotics and the problem of the observer. *Semiotica* 1984; 48–3/4: 187–195.
22. von Uexküll T. Medicine and Semiotics. *Semiotica* 1986, 61:201–217.
23. von Uexküll Th. Biosemiose. In: R. Posner, K Robering, Th.A. Sebeok (Hg.). *Semiotik/ Semiotics. Ein Handbuch zu den zeichentheoretischen Grundlagen von Natur und Kultur/A Handbook on the Sign-Theoretic Foundations of Nature and Culture. Teilband 1/Volume 1.* Berlin/New York: Walter de Gruyter; 1997: 447–457.
24. von Uexküll Th, Geigges W, Herrmann JM. Endosemiosis. In: R. Posner, K Robering, Th.A. Sebeok (Hg.). *Semiotik/Semiotics. Ein Handbuch zu den zeichentheoretischen Grundlagen von Natur und Kultur/A Handbook on the Sign-Theoretic Foundations of Nature and Culture. Teilband 1/Volume 1.* Berlin/New York: Walter de Gruyter; 1997: 464–487.
25. Tonnessen M, Sharov A, Maran T. Jesper Hoffmeyer's biosemiotics legacy. *Biosemiotics* 2019; 12: 357–363.
26. von Uexküll T. Einleitung: Plädoyer für eine sinndeutende Biologie. In: von Uexküll Th. (Hg.). von Uexküll J. *Kompositionslehre der Natur. Biologie als undogmatische Naturwissenschaft. Ausgewählte Schriften.* Frankfurt a.M.: Propyläen/Ullstein Verlag, 1980: 17–85.
27. Watson JD, Crick FHC. Molecular structure of nucleic acids: a structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature* 1953; 171: 737–738 und Watson JD. Die Doppel-Helix. Mit einer Einführung von Professor Dr. Heinz Haber. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Verlag; 1969.
28. Collins FS. *The Language of Life: DNA and the Revolution in Personalized Medicine.* New York: Harper Collins; 2010. Deutsch: Collins F. *Meine Gene – mein Leben: Auf dem Weg zur personalisierten Medizin.* Heidelberg/Berlin: Spektrum Akademischer Verlag; 2011.
29. Tabery J. *Tyranny of the Gene. Personalized Medicine and its Threat to Public Health.* New York: Alfred A. Knopf; 2023.
30. Dawkins R. *The Selfish Gene. 40th anniversary edition.* Oxford: Oxford Landmark Science; 2016. Deutsch: Dawkins R. *Das egoistische Gen.* Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag; 1994.
31. Wolpert L. Positional information and the spacial patterning of cellular differentiation. *J. Theoretical Biology* 1969; 25: 1–47.
32. Dance A. Life force – Scientists are pushing forward their understanding of the role of mechanical forces in the body, from embryo to adult. *Nature* 589; 2021: 186–188.

33. von Foerster H. Wissen und Gewissen. Versuch einer Brücke (herausgegeben von S.J. Schmidt), Frankfurt; Suhrkamp Verlag, suhrkamp taschenbuch wissenschaft stw 876; 1993, 4. Aufl. 1997.
34. von Foerster H. Sicht und Einsicht. Versuche zu einer operativen Erkenntnistheorie. Wiesbaden: Springer Fachmedien; 1985.
35. von Glasersfeld E. Wege des Wissens. Konstruktivistische Erkundungen durch unser Denken. Heidelberg: Carl-Auer-Systeme-Verlag; 1997.
36. Rusch G (Hg.). Wissen und Wirklichkeit. Beiträge zum Konstruktivismus. Eine Hommage an Ernst von Glasersfeld. Heidelberg: Carl-Auer-Systeme-Verlag; 1999.
37. Mayr E. Die Entwicklung der biologischen Gedankenwelt. Vielfalt, Evolution und Vererbung. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag; 1984. Englisch: Mayr E. The Growth of Biological Thought. Cambridge/London: The Belknap Press of Harvard University Press; 1982.
38. Mayr E. ... Das ist Biologie ... Die Wissenschaft des Lebens. Heidelberg/Berlin: Spektrum Akademischer Verlag; 1998. Englisch: Mayr E. This is Biology. Cambridge/London: The Belknap Press of Harvard University Press; 1997.
39. Brooks D, DiFrisco J, Wimsatt WC. Introduction: Levels of organization: The architecture of the scientific image: In: Brooks DS, DiFrisco J, Wimsatt WC (eds.). Levels of Organization in the Biological Sciences. Cambridge MA: The MIT Press, Vienna Series in Theoretical Biology; 2021: 1–19.
40. Wimsatt WC. Levels, robustness, emergence and heterogeneous dynamics: Finding partial organization in causal thicketts. In: Brooks DS, DiFrisco J, Wimsatt WC (eds.). Levels of Organization in the Biological Sciences. Cambridge MA: The MIT Press, Vienna Series in Theoretical Biology; 2021:21-38.
41. Brooks DS. Levels of organization as tool and doctrine in biology. In: Brooks DS, DiFrisco J, Wimsatt WC (eds.). Levels of Organization in the Biological Sciences. Cambridge MA: The MIT Press, Vienna Series in Theoretical Biology; 2021:39-59.
42. Eronen MI. Levels, nests, and branches: Compositional organization and downward causation in biology: In: Brooks DS, DiFrisco J, Wimsatt WC (eds.). Levels of Organization in the Biological Sciences. Cambridge MA: The MIT Press, Vienna Series in Theoretical Biology; 2021: 77–87.
43. Griesemer J. Levels, perspectives, and thicketts: Toward an ontology of complex scaffolded living systems. In: Brooks DS, DiFrisco J, Wimsatt WC (eds.). Levels of Organization in the Biological Sciences. Cambridge MA: The MIT Press, Vienna Series in Theoretical Biology; 2021:89-109.
44. DiFrisco J. Integrating composition and process in levels of developmental evolution. In: Brooks DS, DiFrisco J, Wimsatt WC (eds.). Levels of Organization in the Biological Sciences. Cambridge MA: The MIT Press, Vienna Series in Theoretical Biology; 2021:111-134.
45. Love AC. Manipulating levels of organization. In: Brooks DS, DiFrisco J, Wimsatt WC (eds.). Levels of Organization in the Biological Sciences. Cambridge MA: The MIT Press, Vienna Series in Theoretical Biology; 2021:135-151.
46. Baedke J. The origin of new levels of organization. In: Brooks DS, DiFrisco J, Wimsatt WC (eds.). Levels of Organization in the Biological Sciences. Cambridge MA: The MIT Press, Vienna Series in Theoretical Biology; 2021: 153–173.

47. Woodward J. Downward causation and levels. In: Brooks DS, DiFrisco J, Wimsatt WC (eds.). *Levels of Organization in the Biological Sciences*. Cambridge MA: The MIT Press, Vienna Series in Theoretical Biology; 2021: 175–193.
48. Gillet C. Using compositional explanations to understand compositional levels: An integrated approach. In: Brooks DS, DiFrisco J, Wimsatt WC (eds.). *Levels of Organization in the Biological Sciences*. Cambridge MA: The MIT Press, Vienna Series in Theoretical Biology; 2021:233–259.
49. Hacking I. *Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaften*. Stuttgart: Philipp Reclam jun.; 1996.
50. von Bertalanffy L. *General System Theory – Foundations, Development, Applications*. George Braziller, New York, first published in 1969, revisited edition 1976, 18. paperback printing, 2015.
51. Drack M. Ludwig von Bertalanffy's organismic view on the theory of evolution. *J Exp Zool (Mol Dev Evol)* 2015; 324B: 77–90.
52. Drack M, Apfalter W, Pouvreau D. On the making of a system theory of life: Paul A. Weiss and Ludwig von Bertalanffy's conceptual connection. *Q Rev Biol.* 2007; 82(4): 349–373.
53. Pouvreau D, Drack M. On the history of Ludwig von Bertalanffy's ›General Systemology‹, and on its relationship to cybernetics, Part I. *International Journal of General Systems* 2007; 36(3): 281–337.
54. Pouvreau D. On the history of Ludwig von Bertalanffy's ›General Systemology‹, and on its relationship to cybernetics – Part II: Contexts and developments of the systemological hermeneutics instigated by von Bertalanffy. *International Journal of General Systems* 2014; 43(2): 172–245.
55. Drack M, Pouvreau D. On the history of Ludwig von Bertalanffy's ›General Systemology‹, and on its relationship to cybernetics – Part III: convergences and divergences. *International Journal of General Systems* 2015; 44(5): 523–571.
56. Kuhn T. *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*. Frankfurt: Suhrkamp Verlag, suhrkamp taschenbuch wissenschaft, 1967.
57. Zunke C. *Dialektik des Lebendigen. Kritik der organischen Teleologie*. Bielefeld: transcript Verlag; 2023.
58. von Uexküll Th, Wesiak W. Integrierte Medizin als Gesamtkonzept der Heilkunde: ein bio-psycho-soziales Modell. In: Adler R, Herrmann JM, Köhle K, Langewitz W, Schonecke OW, von Uexküll Th, Wesiak W (Hg.). *Uexküll Psychosomatische Medizin*. 6. Aufl., München: Urban & Fischer, 2003: 3–42.
59. von Uexküll T, Pauli H. The mind-body problem in medicine. *Advances, Advancement of Health* 1986; 3(4):158–174.
60. Deacon T.W. *Incomplete Nature. How Mind Emerged from Matter*. New York – London: W.W. Norton & Company; 2012.
61. Thompson E. *Mind in Life. Biology, Phenomenology, and the Sciences of Mind*. Cambridge/London: The Belknap Press of Harvard University Press; 2007.
62. Cramer F. *Gesundheit, Energie, Resonanz – ein Konzept der lebendigen Wechselwirkung*. In: Bartsch HH, Bengel J (Hg.). *Salutogenese in der Onkologie*. Basel: Karger; 1996.

63. Peirce CS. Semiotische Schriften. Band I – III. Herausgegeben und übersetzt von C.J.W. Kloesel und H. Pape. Frankfurt: Suhrkamp Verlag, suhrkamp taschenbuch wissenschaft stw; 1993.
64. Peirce Edition Project (eds.): The Essential Peirce. Selected Philosophical Writings. Volume 2 (1893 – 1913), Bloomington and Indianapolis: Indiana University Press, 1998.
65. Liszka JJ. A General Introduction to the Semiotics of Charles Sanders Peirce. Bloomington/Indianapolis: Indiana University Press; 1996.
66. Kirschner M, Gerhart J, Mitchison T. Molecular «vitalism». Cell 2000; 100: 79–88.
67. Weber A. Natur als Bedeutung. Versuch einer semiotischen Theorie des Lebendigen. Würzburg: Königshausen und Neumann; 2003.

