

Erleben wir eine Renaissance des Lamarckismus? - Are we experiencing a renaissance of Lamarckism?

Authors: Horst Kress
Submitted: 26. August 2019
Published: 31. August 2019
Volume: 6
Issue: 8
Languages: German
Keywords: Lamarckism, biology, life, Sciences, Lamarck, Theory of evolution
Categories: Life Sciences, Medicine
DOI: 10.17160/josha.6.8.596

Abstract:

In the preceding second essay on the Renaissance of Lamarckism (JOSHA Journal Vol. 4, Issue 6) we were able to follow how the Sutton-Boveri chromosomal theory of inheritance achieved a grandiose breakthrough through the works in the fly-room of T. H. Morgan with the help of the fruit fly *Drosophila melanogaster*. By 1935 it had finally become clear that genes in chromosomes are strung together like pearls. However, the question of how to imagine the material and functional properties of these mysterious pearls remained unanswered. However, biologists and geneticists were unable to answer this question with the means at their disposal in the form of cytological analyses or crossings. In particular, it was unclear where intellectual levers could be used for further progress, which would inevitably lead to the invisible world of molecular dimensions. This required new approaches and methods and, accordingly, cooperation with other branches of the natural sciences that could help to set such a rethink in motion.

JOSHA

josha.org

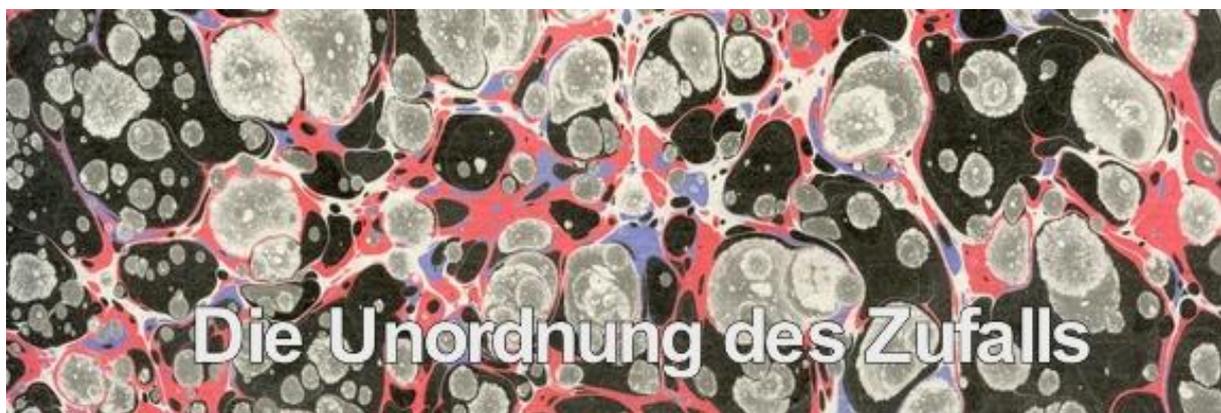
**Journal of Science,
Humanities and Arts**

JOSHA is a service that helps scholars, researchers, and students discover, use, and build upon a wide range of content



Erleben wir eine Renaissance des Lamarckismus?

Autor: Horst Kress



Ernst Weickmann (s. Anm. 1)

3. Gene schaffen in Organismen komplexe Ordnungsmuster

„Das Leben scheint ein geordnetes und gesetzmäßiges Verhalten der Materie zu sein, das nicht ausschließlich auf ihrer Tendenz, aus Ordnung in Unordnung überzugehen, beruht, sondern zum Teil auf einer bestehenden Ordnung, die aufrechterhalten bleibt“

Schrödinger 2006:122



Einleitung

Im vorangehenden zweiten Essay zum Thema Renaissance des Lamarckismus (JOSHA Journal Vol. 4, Issue 6) konnten wir mitverfolgen, wie die Sutton-Boveri-Chromosomentheorie der Vererbung durch die Arbeiten im *fly-room* von T. H. Morgan mit Hilfe der Taufliege *Drosophila melanogaster* einen grandiosen Durchbruch erzielt hatte. Um 1935 war es schließlich klar geworden, dass Gene in Chromosomen perlschnurartig aneinander gereiht sind. Es blieb aber immer noch die Frage unbeantwortet, wie man sich die stofflichen und funktionellen Eigenschaften dieser geheimnisvollen Perlen vorstellen sollte. Biologen und speziell Genetiker waren bei der Beantwortung dieser Frage mit den ihnen zur Verfügung stehenden Mitteln in Form von cytologischen Analysen oder von Kreuzungen allerdings überfordert. Insbesondere war unklar, wo man gedankliche Hebel für den weiteren Fortschritt ansetzen könnte, der unabwendbar in die unsichtbare Welt molekularer Dimensionen führen musste. Hier bedurfte es also neuer Denkansätze und Methoden und dementsprechend auch der Zusammenarbeit mit anderen Zweigen der Naturwissenschaften, die helfen könnten, ein solches Umdenken in Gang zu bringen.

Zusammenfassung von Teil 3

In diesem Teil sprechen wir zunächst von der für das Umdenken katalytisch wirksamen Rolle der Physik, in erster Linie ausgehend von Max Delbrück (1906-1981) und Erwin Schrödinger (1887-1961). Beide verursachten mit ihren Modellen eine Initialzündung für den Gedanken, dass es sich bei Genen nicht um esoterische, vitalistische Strukturen (ein noch unbekanntes „Etwas“ (William Bateson (1861-1926), zitiert in Timoféeff-Ressovsky et al.1935:191) handeln könne, sondern um real existierende Moleküle, die den ubiquitär wirkenden Gesetzen der Physik unterworfen sind. Diese Moleküle wurden nach 1940 von dem Mediziner Oswald Avery als DNS identifiziert. Im Lauf der Zeit erwies es sich, dass die DNS *code*-Funktionen ausübt, die allerdings kein starres System darstellen, sondern veränderlich sind. Dies bezieht sich nicht nur auf die damit verbundenen Mutationen als solche, sondern auch auf die Konsequenzen, die sich daraus für das Überleben eines Organismus in einer sich ständig verändernden Umwelt ergeben: er wird anpassungsfähig. Diese Erscheinung wurde 1909 von dem Biologen Richard Woltereck als „**Reaktionsnorm**“ bezeichnet. Sie umfasst alle phänotypischen Ausdrucksformen, die zu bilden ein Organismus in der Lage ist. Für Woltereck war diese Fähigkeit vererbbar. Haben wir hier also einen Schlüssel zur Lösung des Problemfalls Lamarckismus gefunden?

Der Physiker Max Delbrück begründet die Molekularbiologie

H. J. Muller hatte 1928 entdeckt, dass Röntgenstrahlen bei *D. melanogaster* Mutationen erzeugen (vgl. Essay 2, JOSHA Journal Volume 4, Issue 6). In diesem Zeitraum hatte die Physik mit dem Aufkommen der modernen Quantenmechanik seit etwa 1900, die u. a. mit berühmten Namen wie Max Planck (1858-1947) oder Werner Heisenberg (1901-1976) verknüpft ist, ein neues Forschungsgebiet geöffnet. Der dänische Physiker Niels Bohr (1885-1962) schrieb Atomen einen dualen Charakter zu; sie würden entweder in Form von korpuskulärer Materie



auftreten oder als gequantelte Energiestrahlung, wobei der eine Zustand den anderen ausschliesse. Niels Bohr hatte dafür 1927 den Begriff *Komplementarität* geprägt (Fischer 1985:42). Wenn also Gene auf Röntgenstrahlung mit sprunghaften Mutationen reagierten, die nach der von W. Bateson und H. de Vries vertretenen Meinung die Ursache der Evolution sein sollen (vgl. Essay 2, S.12), wäre es da nicht möglich, dass auch Gene einen dualen Charakter Materie/Strahlung besitzen? Immerhin sind die morphologischen Erscheinungsformen allen höheren Lebens inklusive ihrer Wechselwirkungen mit der Umwelt nichts anderes als in Materie und Funktion umgewandelte Sonnenstrahlung.

Einer der Ersten, der die Notwendigkeit einer interdisziplinären Herangehensweise an die Lösung des biologischen Problems Gen erkannte, war der Berliner Physiker Max Delbrück (1906-1981). Hineingeboren in eine Familie mit bedeutenden Repräsentanten in Kultur, Politik und Wissenschaft, aufgewachsen in dem vornehmen Vorort Grunewald in der Nachbarschaft von profilierten Familien wie derjenigen von Max Planck, dem Begründer der Quantenphysik, dem Theologen Adolph von Harnack (1851-1930), Begründer der Kaiser-Wilhelm Gesellschaft (aus der später die Max-Planck-Gesellschaft hervorging) oder dem Ordinarius für Psychiatrie an der Charité Berlin, Karl Bonhoeffer (1868-1948), in dessen Villa regelmäßige Treffen mit Diskussionen zu wissenschaftlichen und vor allem auch zu aktuellen politischen Themen (es war die Zeit des 1. Weltkrieges!) veranstaltet wurden, „.....wobei Max [Delbrück] und die anderen einundzwanzig (!) Kinder zuhörten“ (Fischer 1985:21).

Vor diesem breit gefächerten intellektuellen Hintergrund entschied sich der junge Delbrück zunächst für die Laufbahn eines Astronomen, dann aber für die eines theoretischen Physikers, wobei er von Anfang an eine Verbindung zur Biologie, insbesondere der Genetik, anstrebte. Zusammen mit dem in Berlin am Kaiser-Wilhelm-Institut (KWI) für Hirnforschung mit Strahlungsversuchen an *Drosophila* experimentierenden russischen Genetiker N. W. Timoféeff-Ressovsky (1900-1981)¹ und dessen Mitarbeiter, dem Physiker K. G. Zimmer (1911-1988), veröffentlichte Delbrück 1935 (er war zu dieser Zeit Mitarbeiter von Lise Meitner (1878-1968) am Dahlemer KWI für Chemie) in den „Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen“ eine gemeinsame Publikation mit dem Titel: „Über die Natur der Genmutation und der Genstruktur“. Während sich Timoféeff-Ressovsky mit speziellen genetischen Fragen beschäftigte (u.a. mit spontanen und strahleninduzierten Mutationen und ihre Temperatur- und Dosisabhängigkeit) und Zimmer mit physikalischen Aspekten (Treffertheorie), ging es Delbrück um eine Synopsis der von dem Trio vorgelegten Daten in einer Theorie der Genmutation und der Genstruktur. Deren Grundlage war seine Vorstellung, dass Gene große Moleküle sein müssen, die „am allgemeinen Zellstoffwechsel nur katalytisch teilnehmen.“ (Timoféeff-Ressovsky et al. 226:1935). Mutationen erfolgen durch Umlagerung einzelner Atome in einem stabilen Atomverband und erreichen wiederum einen stabilen, aber anderen Endzustand. Es existieren grundsätzlich zwei verschiedene Energiequellen: „Die Mutation wird durch Zufuhr der Energie von außen oder durch Schwankungen der Temperaturenergie, die unvermeidlich mit der statistisch-kinetischen Natur der Wärme verbunden ist, erzeugt,....“ (Ebd:234) . Diese Schwankungen der Temperatur würden die Grundlage für „spontane“ Mutationen bilden. Sie dürften allerdings nicht zu häufig auftreten, um jene langfristige Stabilität zu gewährleisten, die Evolutionsprozesse erst möglich machen.

¹ Timoféeff-Ressovsky war seit 1925 am KWI tätig. In die Sowjetunion konnte er nicht zurück, da Vertreter der „westlichen Genetik“ in der Zeit des Lyssenkoismus (siehe Essay 1, JOSHA Journal Vol 3, issue 4) verfolgt wurden. 1945 wurde er von den Sowjets in Berlin verhaftet und in der Sowjetunion interniert. Seine Rehabilitation erfolgte erst nach dem Zusammenbruch der Sowjetunion 1992 (Quelle: Wikipedia).



Die angesprochene „Energie von außen“ ist als Form von Strahlung zu betrachten: „In den strahlengenetischen Versuchen wird eine zusätzliche Energie durch Strahlenquanten hinzugebracht..... [wobei] als mutationsauslösender „Treffer“ eine Ionisation oder eine Atomanregung anzusehen ist.“ (Ebd:235). Zum Abschluss stellen sie fest: „Es wird auch versucht, die einzelnen, durch Mutationen erblich modifizierbaren ontogenetischen Entwicklungsabläufe gedanklich bis in die einzelnen Gene zurückzuprojezieren. Die Gene werden dabei als unmittelbare „Startpunkte“ der Reaktionsketten, aus denen die Entwicklungsvorgänge bestehen, gedacht. [.....] Die als Lebenseinheit sich bisher so glänzend bewährende Zelle wird in „letzte Lebenseinheiten“, die Gene aufgelöst. [.....] Die Gene sind physikalisch-chemische Einheiten; vielleicht bildet sogar das ganze Chromosom (selbstverständlich der genhaltige Teil) eine solche Einheit, einen großen Atomverband, mit vielen einzelnen, weitgehend autonomen Untergruppen.“ (Ebd:240)

Die Verknüpfung von Genen als Startpunkte chemischer Reaktionsketten zur Steuerung ontogenetischer Prozesse war für die damalige Zeit durchaus kühn, da in diesen Zeiten Genetiker und Entwicklungsbiologen noch nichts miteinander anfangen konnten, sie forschten nebeneinander her. Jene Vorausschau öffnete ein neues Szenario der Genforschung mit visionären, und wie die spätere Geschichte zeigen sollte, der Wirklichkeit aber doch sehr nahe kommenden Vorstellungen. Kein Wunder also, dass jenes bei den Genetikern zunächst auf nicht besonders fruchtbaren Boden fiel, dafür aber bei einem Physiker, der im Exil seit 1940 an der Universität von Dublin seine Vorlesungen hielt, eine umso nachhaltigere Wirkung ausübte, die sich in Form eines kleinen, aber nicht minder in die Tiefe gehenden Buches „*What is life*“ (1944) niederschlug. In ihm ging der österreichische Physiker Erwin Schrödinger² (1887-1961) über die Frage nach der Natur und Funktion der Gene in Organismen weit hinaus und erörterte deren Bedeutung für das Phänomen des Lebens.

Die Mutation als energetischer Quantensprung

Wie aus den ersten Kapiteln seines Buches zu schließen ist, hatte sich Schrödinger bereits intensiv mit der Natur von Zellen, Chromosomen und von Genen auf morphologischer, physikalischer, atomarer und energetischer Ebene beschäftigt. In seinem Buch, das 1951 auch erstmals unter dem Titel „Was ist Leben“ in deutscher Übersetzung erschien, fasst er seine Erkenntnisse allgemeinverständlich zusammen und schreibt z. B. im 1. Kapitel: „.....*dass wir den wichtigsten Teil einer lebenden Zelle - die Chromosomen – passend als aperiodischen Kristall bezeichnen können*“ (Schrödinger 2006:34).

Wie ist diese Metapher zu verstehen? Anders als bei einem normalen Kristall, etwa beim Kochsalz NaCl, dessen dreidimensionale Gitterstruktur beim Zerkleinern auch in den kleinsten Bruchstücken immer noch erhalten bleibt (Elementarzellen), besitzt ein aperiodischer Kristall keine einheitliche, sich immer wiederholende räumliche Struktur, sondern eine unregelmäßige eindimensionale Struktur entlang seiner Längsachse. Man könnte sie sich im Falle der Chromosomen am einfachsten in Form einer Faser vorstellen, auf der unterschiedlich zusammengesetzte genetische Elemente (Gene) aneinander gereiht sind. In den Chromosomen „ – ist in einer Art Code..... das vollständige Muster der zukünftigen Entwicklung des

² Erwin Schrödinger war Wissenschaftstheoretiker und u. a. mit der nach ihm benannten „Schrödinger Gleichung“ einer der Wegbereiter der Quantenmechanik. 1933 erhielt er zusammen mit dem britischen Physiker Paul Dirac (1902-1984) den Nobelpreis für Physik.



Individuums und seines Funktionierens im Reifezustand enthalten“ (Ebd:56). Es handelt sich also um eine vierdimensionale, in Raum und Zeit wirkende Quelle der Information. „Der Begriff »Code« ist selbstverständlich zu eng. Die Chromosomenstrukturen tragen gleichzeitig dazu bei, die Entwicklung, welche sie ahnen lassen, hervorzubringen. Sie sind zugleich Gesetzbuch und ausübende Gewalt, Plan des Architekten und Handwerker des Baumeisters“ (Ebd:57).

Es stellte sich aber sofort die Frage, mit welcher Codeschrift dieses Gesetzbuch geschrieben sein sollte? Zu Schrödingers Zeiten war zumindest klar geworden, dass es Makromoleküle sein müssen, die jene molekulare Stabilität aufweisen, die durch Generationen hindurch die genetische Stabilität weiter tragen kann. Ein Heer von Chemikern und Biochemikern hatte im Lauf der Zeit vier grundlegende zelluläre Bausteine identifiziert, die in ihrer Form als polymere Makromoleküle für diese Funktion als Kandidaten in Frage kamen, nämlich Proteine, Kohlenhydrate, Fette und Nukleinsäuren. Schrödinger favorisierte Proteine als Genbausteine, da sie ihm von ihrer Größe und der Vielfalt ihrer Strukturen her als die besten Kandidaten erschienen. [Das Gen] „...ist wahrscheinlich ein großes Proteinmolekül, in dem jedes Atom, jedes Radikal und jeder heterozyklische Ring eine individuelle, von derjenigen jedes anderen gleichen Atoms, Radikals oder Rings mehr oder weniger verschiedene Rolle spielt“ (Ebd:70). Wir können Schrödinger diese Vorstellung nicht übel nehmen, war er sich doch dem Wagnis seines Versuchs, über die Grenzen seines Faches hinaus zu schauen, durchaus bewusst: „.....daß einige von uns sich an die Zusammenschau von Tatsachen und Theorien wagen, auch wenn ihr Wissen teilweise aus zweiter Hand stammt und unvollständig ist — und sie Gefahr laufen, sich lächerlich zu machen. Soviel zu meiner Entschuldigung“ (Ebd:29/30).

Diese bescheiden wirkende Entschuldigung war allerdings unbegründet. Wenn Schrödinger auch mit seiner Vorliebe für Proteine als Genmaterial³ daneben gegriffen hatte, sprach das Büchlein viele seiner Fachkollegen, die für die Befriedigung ihrer wissenschaftlichen Neugierde nach neuen Jagdgründen suchten, in seiner Grundsätzlichkeit

³ In den 1930-iger Jahren konzentrierten sich die Spekulationen in erster Linie auf Proteine als Bausteine der Gene. So war z.B. der englische Physiker William Astbury (1898-1961) der Meinung, Gene wären fibrilläre Proteine. Die DNS hätte lediglich eine Art katalytische Funktion dergestalt, dass sich ein Proteinmolekül (Gen) der Länge nach mit einem passenden DNS-Molekül als Streckermolekül verbindet (*Nukleoprotein*) und dadurch auf der gegenüber liegenden Seite sich ein neues Proteinmolekül ungestört in gegenläufiger Richtung bilden könne (Olby 1974:98). Die Gensynthese fände somit in einer Art Sandwich Protein – DNS – Protein statt.

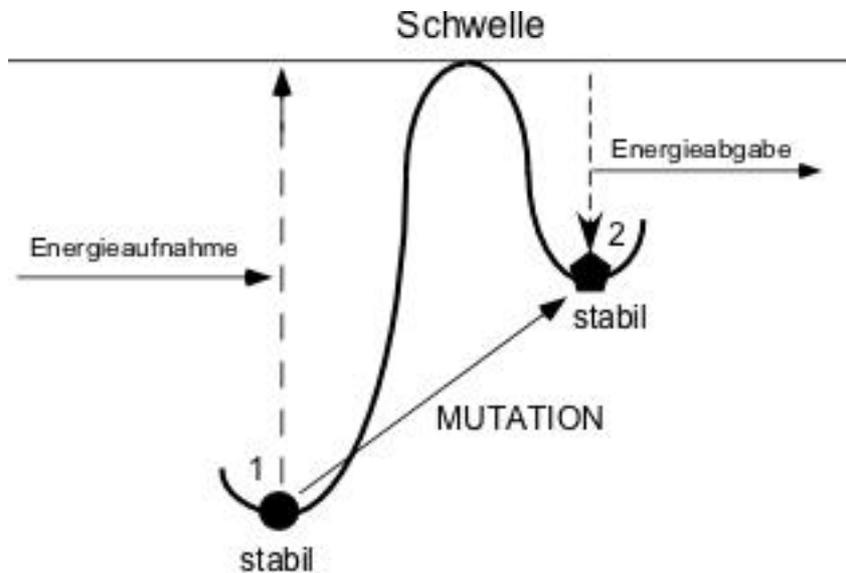


Fig. 1 Modifizierte Nachzeichnung von Schrödingers energetischem Modell für den Ablauf einer Mutation im Fall isomerer Moleküle (Schrödinger 2006, Abb. 12). Molekül 1 wird durch Aufnahme von Energiequanten aus der Umwelt auf eine Energieschwelle gehoben (= Aktivierungsenergie), aus der heraus durch teilweise Abgabe von Energiequanten an die Umwelt ein neues, nun anders konfiguriertes (= mutiertes) Molekül 2 entsteht. Beide Konfigurationen sind thermodynamisch stabil, unterscheiden sich aber in ihrem Energiegehalt ($2 > 1$). Insgesamt verläuft die dargestellte Mutation als endothermer Quantensprung.

unmittelbar an. Schrödinger hatte es verstanden, das biologische Problem der Vererbung mit Argumenten aus Chemie und Physik zu verknüpfen. So sah er z. B. eine Mutation – als Vorlage diente ihm das Genmodell von Delbrück⁴ – als Folge eines energetischen Quantensprungs von einem stabilen Ausgangsniveau unter Überwindung einer höher liegenden Energieschwelle zu einem neuen, energetisch etwas unter der Schwelle liegenden Endniveau. Dabei liegt das Endniveau höher als das Ausgangsniveau (**Fig. 1**). Der Übergang von Konfiguration 1 zu Konfiguration 2 ist spontan unwahrscheinlich, da im ersten Schritt mehr Energie aufgewendet werden muss (endotherme Reaktion) als im zweiten Schritt freigesetzt wird (exotherme Reaktion).⁵ Die Richtung der Mutation kann aber auch umgekehrt verlaufen, sie ist dann exotherm. Wenn der Energieunterschied zwischen der Schwelle und Molekül 2 klein genug ist, kann sie auch spontan durch Aufnahme thermischer Energie aus der Umgebung auftreten.

⁴ Schrödinger widmete diesem Modell in seinem Buch ein ganzes Kapitel mit dem Titel „*Besprechung und Prüfung von Delbrücks Modell*“.

⁵ Schrödinger zog für seine Argumentationen isomere Moleküle heran, die sich in ihrer Summenformel nach aussen hin nicht unterscheiden, innerhalb des Moleküls jedoch hinsichtlich der atomaren Bindungen unterschiedliche Konfigurationen eingehen, so dass sie verschiedene räumliche Strukturen aufweisen. Schrödinger hatte mit dieser Beispielswahl insofern eine glückliche Hand, als es sich später heraus stellte, dass die vier Basen, die dem genetischen Code zugrunde liegen, eine spezielle Formen isomerer Moleküle darstellen, die man als Tautomere bezeichnet,



Gene und die Ordnung des Lebens.

Schrödinger begnügte sich aber noch nicht mit dem Genmodell von Delbrück allein. Er wollte mehr, nämlich die biologische Bedeutung der Gene in einen größeren Zusammenhang stellen und zeigen, dass das Leben nicht gegen die bekannten Gesetze der Physik verstößt (**Fig. 2**)

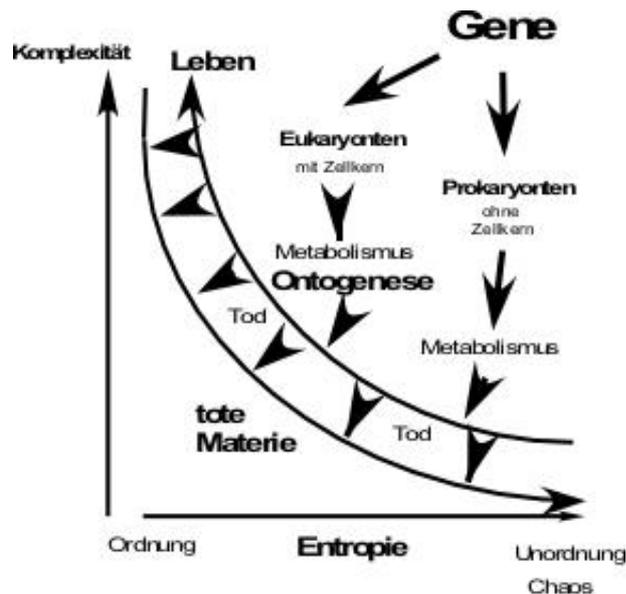


Fig. 2 Ein Darstellungsversuch für die grundlegende Rolle der Gene in den Erscheinungen des Lebens im Sinne der Modelle von Delbrück und Schrödinger. Die Gültigkeit des 2. Hauptsatzes der Thermodynamik ist durch die untere der beiden Kurven symbolisiert, in der die Entropie der toten Materie in ihrer Komplexität ständig ab- und die Wahrscheinlichkeit dieses Zustands ständig zunimmt, bis in Äonen alles im ungeordneten Chaos enden soll. Die obere der beiden Kurven soll die Zunahme der Komplexität der Lebensformen und die damit verbundene Rolle der Gene in der belebten Welt andeuten. Sie steuern sowohl bei den Prokaryonten (Einzeller ohne Zellkern) als auch bei den Eukaryonten (Ein- und Vielzeller mit Kern) über komplex verknüpfte zelluläre Stoffwechselwege (Metabolismus) den „Kampf ums Überleben“. Bei den höheren Eukaryonten (Meso- und Metazoa) erhöht sich die Komplexität der körperlichen und funktionellen Organisation durch Entwicklungsprozesse (Ontogenese) und die Aufrechterhaltung funktioneller Gleichgewichte (Homöostase) durch metabolische, hormonelle und nervöse Kontrollprozesse in somatischen Netzwerken.

Insbesondere ging es ihm um den 2. Hauptsatz der Thermodynamik, nach dem in einem Beziehungssystem im Laufe der Zeit die Unordnung nur zunehmen kann und der Endzustand die höchste Entropie (= physikalisches Maß der Unordnung; siehe Anm. 2) und damit die wahrscheinlichste Daseinsform von Materie ist, sofern nicht dem System von außen Energie zugeführt wird, die gegen diese ständige Tendenz arbeitet. Der Evolutionsforscher Ernst Mayr (1904-2005), stellte dazu fest: „*Evolution schafft Ordnung. Deshalb wird manchmal behauptet, sie stehe im Widerspruch zum Entropiegesetz der Physik, wonach alle Entwicklungsvorgänge zu einer Zunahme der Unordnung führen. In Wirklichkeit existiert dieser Widerspruch nicht: Das Entropiegesetz gilt nämlich nur für geschlossene Systeme, die Evolution einer biologischen Art findet aber in einem offenen System statt, in dem die Lebewesen auf Kosten der Umwelt*



eine Entropieabnahme herbeiführen können, wobei die Sonne für ständige Energiezufuhr sorgt.“ (Mayr 2003:25)

Die Gensubstanz als chemisches Rätsel

Die Tatsache, dass Schrödinger Proteine als stoffliche Grundlage von Genen favorisierte, entsprach dem damaligen Zeitgeist, dem auch viele Andere anschlossen. Die in den 1930-er Jahren heiß diskutierte *Nukleoprotein Theorie des Gens* von William Astbury (vgl. Fußnote 3) stützte sich hauptsächlich auf die Argumentation, dass die zu erwartende Diversität von Genen mit den Kombinationsmöglichkeiten der bekannten zwanzig Aminosäuren leichter zu erklären sei, als mit den bislang bekannten wenigen Bausteinen von Nukleinsäuren. Konkrete Fakten, die diese Annahme überzeugend hätten unterstützen können, gab es allerdings noch nicht, wenn auch in den vorangehenden 60 Jahren schon Indizien für Nukleinsäuren als potentielle Gensubstanz ins Spiel gebracht worden waren.

Den Stein ins Rollen gebracht hatte der in Basel geborene Friedrich Miescher (1844-1895). Er entstammte einer angesehenen Arztfamilie und hatte, der Familientradition entsprechend, zunächst Medizin studiert. Da er aber an einer Hörschwäche litt, konnte er den Arztberuf nicht ausüben und entschied sich unter dem Einfluss seines Onkels Wilhelm His (1831-1904), einem bekannten Neuroanatomen und Embryologen, in die physiologisch/chemische Forschung einzusteigen. Er trat 1869 in das Labor des berühmten Chemikers Felix Hoppe-Seyler (1825-1895) an der Tübinger Universität ein, in dem er in kürzester Zeit erstmals aus weißen Blutkörperchen (Leukozyten), die er aus eitrigen Wundverbänden aus Tübinger Krankenhäuser gewann, eine Substanz isolierte, als deren Quelle er die Zellkerne identifizierte. Die chemische Analyse des pastösen Isolats wies auf eine Protein-ähnliche Zusammensetzung hin, jedoch mit dem Unterschied, dass Miescher auch 3% Phosphor nachweisen konnte (Kean 2013:25). Dieses Element kommt in Proteinen in der Regel nicht vor⁶. Durch den aufkommenden Verdacht, dass es sich um eine bislang unbekannte Stoffgruppe handeln könnte, gab er dieser 1869 den Namen „Nuclein“ (lat. nucleus = Kern).

1870 nach Basel zurückgekehrt, setzte Miescher seine Untersuchungen am Nuclein von aus Hoden reifer Lachse gewonnenen Spermien fort, da er in deren Köpfen (die im wesentlichen nur aus dem Zellkern bestehen) beinahe ausschließlich Nukleoprotein gefunden hatte (81,6%, 1946 von anderen später auf 96 % korrigiert; Olby 1974:154). Seine Opfer konnte Miescher im nahe gelegenen Rhein zur Fortpflanzungszeit im Herbst/Winter aus dem Wasser in unbegrenzten Mengen holen. Damit war für ihn diese merkwürdige Substanz einfacher und auch reiner zu gewinnen, allerdings mit dem Nachteil, dass er bei offenem Fenster mit seiner Arbeit erst beginnen konnte, wenn die Temperatur zum Kälteschutz des empfindlichen Materials in seinem Labor in den Bereich von 2 °C gefallen war (Kean 2013:28). Da es sich beim Nuclein offenbar um ein Nukleoprotein handelte, versuchte Miescher die verschiedenen Komponenten näher zu charakterisieren, was aber mit den ihm zur Verfügung stehenden Methoden in befriedigender Weise nicht möglich war. Immerhin konnte er im Nuclein zwei verschiedene Bestandteile nachweisen, von denen der eine ein basisches Protein ohne Phosphor sein musste, das Miescher 1874 *Protamin* nannte. Das andere Isolat hatte leicht sauren Charakter und enthielt Phosphor, Zucker und eine Reihe anderer leicht saurer Moleküle. Dieses Gemisch nun in die einzelnen Komponenten aufzutrennen, hatte Miescher nicht mehr genügend

⁶ Die Ausnahmen sind Phosphoproteine, bei denen nach der Translation im Cytoplasma durch spezifische Enzyme (Kinasen) bestimmte basische Aminosäurereste phosphoryliert werden.



Zeit, da er sich beim Arbeiten unter winterlichen Bedingungen eine Lungenentzündung zugezogen hatte, an der er 1895 im Alter von nur 51 Jahren verstarb.

Miescher's Tragik war es, dass er mit seiner fundamentalen Entdeckung nicht den Sprung an neue Ufer wagte und befangen war, sich von den Gedankengängen anderer Zeitgenossen zu lösen, für die als Erbräger ausschließlich Proteine in Frage kamen. Er hatte eine bislang unbekannte Substanz entdeckt, die erst rund 50 Jahre später unter der Bezeichnung Desoxyribonukleinsäure (DNS) als stoffliche Grundlage der Gene identifiziert wurde.

Die DNS-Bausteinsuche

Wenn auch Miescher seine Befunde falsch interpretierte hatte, so trat er nicht nur einen Stein los, sondern einen großen Felsen, in dessen Windschatten sich vornehmlich Organo-Chemiker tummelten. Hier ist in erster Linie der aus Rostock stammende Physiologe Albrecht Kossel (1853-1927) zu nennen, der als Wissenschaftlicher Assistent in Hoppe-Seylers Labor in Strassburg begann, ein selbständiges Forschungsprogramm aufzubauen, das ihn über ein Ordinariat in Marburg und ab 1901 in der gleichen Funktion an das Physiologische Institut der Universität in Heidelberg führte. Sein langjähriger Mitarbeiter Siegfried Edlbacher (1886-1946) schrieb 1928 in seinem Nachruf: *„Immer war es Kossels Wunsch gewesen, die Ergebnisse seiner deskriptiven, konstitutionschemischen Arbeiten mit dem biologischen Sinn in Übereinstimmung zu bringen, den großen Schritt zu tun, vom Statischen auf das Dynamische überzulenken.“* (Edlbacher 1928:13) Mit anderen Worten: es ging Kossel darum, die vielen zellulären Bausteine, die bis dahin gesammelt worden waren, in funktionelle Zusammenhänge zu bringen, d. h. untereinander in metabolische Beziehungen zu setzen. So war es für ihn ein deutliches Zeichen, dass das gehäufte Auftreten von Phosphor im sauren Anteil des Nucleins sich teilender Zellen ein Hinweis auf die *„Neubildung der Gewebe“* (Ebd: 7) sein musste. Andererseits konnte er zeigen, dass im basischen Anteil der Nucleine Hexonbasen⁷ vorherrschen, z. B. im Protamin der Lachsspermien die Aminosäure Arginin. Kossel betrachtete die Vielfalt von verschiedenen Aminosäureresten in verschiedenen Proteinen als Hinweis auf die hohe Reaktivität im metabolischen Geschehen *„Ich stelle mir das Eiweißmolekül so vor, dass es jederzeit auf einen chemischen Angriff mit irgendeiner seiner charakteristischen Gruppen antworten kann.“* (Ebd:10) Für Kossel waren somit Proteine die wirklichen aktiven Akteure im Stoffwechselgeschehen.

Das Bestreben von Kossel, den Übergang vom Statischen zum Dynamischen zu vollziehen, machten ihn zum Begründer der modernen Biochemie. Wenn er auch dafür 1910 den Nobelpreis für *Physiologie oder Medizin* bekam, so mussten ihm die Funktionen des Protamins und der von ihm entdeckten Histone als basische Kernproteine verborgen bleiben, genauso wie die sauren Komponenten (z.B. Phosphor und unterschiedlich aufgebaute Kohlenhydratkomplexe). Die Lösung derartiger Fragen sollte nun die Aufgabe für kommende Generationen sein.

Es würde in dem uns gesetzten Ziel zu weit führen, die Irrungen und Wirrungen im Verlauf des langen Weges zur weiteren Charakterisierung der Kernbestandteile nachzuvollziehen. Nachdem 1944 durch den kanadischen Mediziner Oswald Avery (1877-

⁷ Dies sind Aminosäuren mit jeweils sechs C-Atomen, neben Arginin z.B. Lysin und Histidin.



1955) und seinen Mitarbeiter eindeutig nachgewiesen wurde, dass allein die DNS für die Übertragung genetischer Information in eine Zelle zuständig ist (Avery et al. 1944), begann eine große Lawine in die nun endgültig festgelegte klare Richtung abzugehen. Für die näheren Details, die unsere Absichten hier sprengen würden, sei auf die vielfältige Literatur hingewiesen, die heutzutage für den interessierten Laien im *internet* zur Verfügung steht, sowie in populärwissenschaftlichen Zeitschriften bzw. in Lehrbüchern der Genetik und der Molekularbiologie eingehend beschrieben sind (siehe z. B. die kleine Auswahl von vertiefender Literatur unten).

Dass es in diesem hektischen Konkurrenzkampf um Ruhm und Ehre Gewinner und Verlierer gab, ist verständlich. Es soll hier nur das Schicksal des Chemikers Erwin Chargaff (1905-2002) kurz angesprochen werden. Chargaff stammte aus dem Kulturraum Österreich/Ungarn und war geprägt von den klassischen und humanistischen Bildungsidealen seiner Zeit⁸. Nach der Machtergreifung Hitlers 1933 emigrierte er mit seiner Familie über Paris in die USA, wo er sich in einer fremden Welt eine neue wissenschaftliche Existenz aufbauen musste. Ihm und seinen Mitarbeitern gelang es später, an der Columbia University in New York durch methodisch verbesserte quantitative Analysen festzustellen, dass generell in der DNS die Quotienten der Molmengen A/T und G/C immer 1 sind, d. h. $A = T$ und $G = C$ (**Chargaff-Regel**). Diese Erkenntnis war eine der wichtigsten Hilfen für die später durch J. Watson und F. Crick erfolgte Aufklärung der DNS-Struktur (Watson und Crick 1953). Chargaff schreibt dazu in seiner Autobiographie (1979): „*Als Watson und Crick.....ihre erste Mitteilung über die Doppelhelix veröffentlichten, erwähnten sie meine Hilfe nicht.....*“ (Ebd: 145). „*Später, als die Wirbeltänze der Molekularerwische den Höhepunkt ihres Taumels erreicht hatten - –wurde ich oft von Leuten, die es mehr oder minder gut meinten, gefragt, warum nicht ich das Modell entdeckt hätte. Meine Antwort lautete immer, daß ich zu dumm gewesen sei.....*“ (Ebd:145). Aus diesen Worten klingt die Resignation über die verpasste große Ruhmeschance, die am Ende des Buches noch deutlicher wird, wenn er im Zusammenhang mit seiner Emeritierung schreibt: „*Der große Übergang bringt noch etwas anderes mit sich: an einem Tag ist man in der Mitte von fast zuviel Geschäftigkeit und es herrscht ein großer Lärm: am nächsten Tag wird es so still, daß man den Dollar fallen hören kann.....Am 20. November 1975 kamen die Packer.....Als wir zurückkehrten, konnten wir nicht mehr in unsere Laboratorien. Irgendwer, so sagte man uns, hatte den Auftrag gegeben, alle Schlösser zu ersetzen.*“ (Ebd:267).

Das fundamentale Prinzip der „Reaktionsnorm“

Im zweiten Essay (JOSHA Journal Vol. 4, Issue 6) hatten wir die von August Weismann postulierte „Keimplasmatheorie“ kennen gelernt, nach der es für ihn wegen der strikten Trennung von Keimbahn- und Somazellen keine Vererbung erworbener Eigenschaften geben könne. Diese Theorie war der Dreh- und Angelpunkt seines Denkens und Wirkens, der in vielen seiner genetischen und evolutionären Visionen zum Ausdruck kam. „Weismann dachte in

⁸ So hatte er keine Probleme, in seiner schriftstellerischen Tätigkeit neben vielen anderen Klassikern auch J. W. von Goethe zu zitieren: „*Das ist die alte Erfahrung: sobald sich etwas Bedeutendes hervortut, alsobald erscheint als Gegensatz die Gemeinheit, die Opposition. Lassen wir sie gewähren, sie werden das Gute doch nicht unterdrücken.*“ (zitiert in Chargaff 1979: 174/75)



seinen wissenschaftlichen Untersuchungen immer synoptisch, auch da, wo er nur deskriptiv arbeitete; Jedes Phänomen war für ihn Teil eines umfassenderen Zusammenhangs. Auf Grund dieser Betrachtungsweise hat Weismann sogleich zu Beginn seiner Planktonstudien eine durch alle Jahrzehnte hindurch bis heute durch die Zooplanktonforschung fruchtbare Entdeckung gemacht. Weismann hat als erster auf die tagesperiodische Vertikalwanderung des limnischen Zooplanktons aufmerksam gemacht.“ (Schwoerbel 1985:53).

Sowohl diese circadiane Rhythmik als auch saisonal bedingte körperliche und ethologische Veränderungen dieser Krebse waren u. a. Gegenstand der in der Arbeitsgruppe von Weismann durchgeführten Doktorarbeit des später in Leipzig wirkenden Hydrologen Richard Woltereck (1877-1944). Im Jahr 1909 erschien von ihm in den *Verhandlungen der deutschen zoologischen Gesellschaft* eine Publikation, in der Woltereck über *quantitative Artunterschiede* bei Wasserflöhen berichtete. Es sind dies Kleinkrebse aus der Familie der Daphnidae, die vornehmlich in Tümpeln und in stehenden Binnengewässern in einer Vielzahl von verschiedenen Gattungen und Arten ihr Dasein führen und dabei auch Trockenzeiten mit Hilfe von Dauereiern überstehen können (**Fig. 3**). Für den genetisch interessierten Forscher ist die Eigenart der Daphnien insofern faszinierend, als sie sich zwar geschlechtlich fortpflanzen können, die Weibchen sich aber vorwiegend über viele Generationen hinweg auch ungeschlechtlich (parthenogenetisch) vermehren. Dies bedeutet, dass die Nachkommen eines einzelnen Weibchens als genetisch identische Klone auftreten und Kreuzungen, die eine genetische „Unruhe“ in das System bringen würden, nicht notwendig sind. Das Problem besteht allerdings darin, dass in der natürlichen Population eines Gewässers genetische Heterogenität vorliegt. Woltereck sprach von „Elementararten“, die durch Zuchtmaßnahmen in Kulturhaltung voneinander isoliert werden müssten, bevor man saubere quantitative Experimente durchführen und damit auch zuverlässigen Aussagen erhalten könne. Woltereck

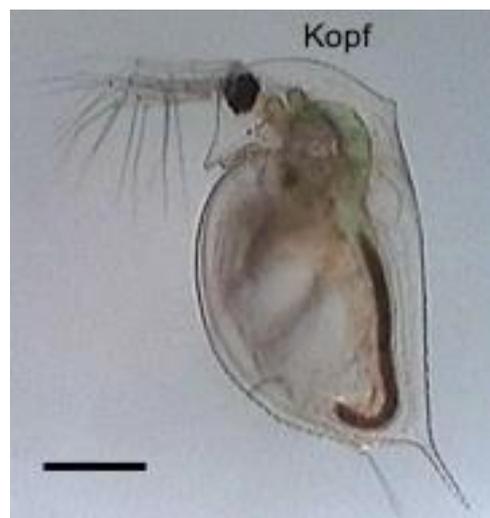


Fig. 3 Durchlichtaufnahme von *Daphnia spec.* Balken = 300 μ m. Am Kopf befinden sich u. a. Komplexaugen und zwei Ruderantennen (2. Antennenpaar), der Darm ist als dunkler Schlauch erkennbar. Der Körper liegt ventral (bauchseits) davon zwischen den beiden Körperschalen, die jeweils in einer dornartigen Struktur (Spina) auslaufen. Herunter geladen am 05.11.2018 aus Wikipedia: „Daphnien“ Photo: Mike Krüger



hat sich als erstes daher Banken von reinerbigen Elementararten aus verschiedenen Binnenseen angelegt, die ihm jeweils als Ausgangspunkt für seine Analysen dienten. Wichtig

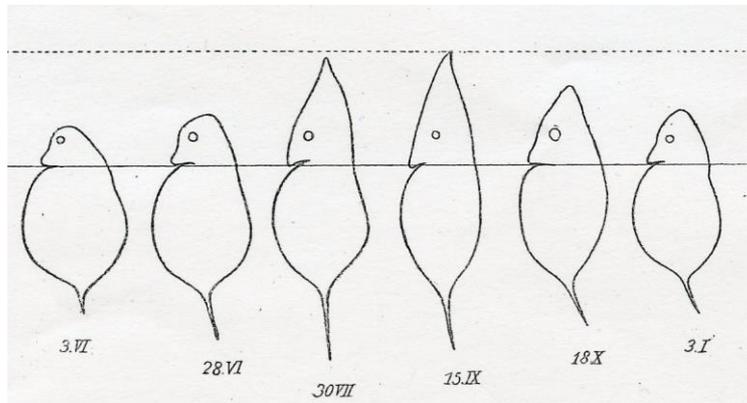


Fig. 4 Jahreszeitliche Schwankungen der Körperform (Cyclomorphosen) der Gattung *Hyalodaphnia* zwischen den Monaten Juni bis Januar des folgenden Jahres. Diese Veränderungen treten in jedem Jahr in vergleichbarer Weise auf, sind also genetisch festgelegt. Die vorübergehende Vergrößerung der Kopfhöhe in den Sommermonaten durch Bildung einer helmartigen Struktur ist zwischen den beiden parallelen Linien hervorgehoben. Da die relative Höhe der Augen sich nicht ändert, ist anzunehmen, dass die großen Veränderungen im Wesentlichen auf den Bereich des Helms beschränkt sind. Woltereck bediente sich hier einer Abbildung seines Kollegen Wesenberg-Lund, der in Dänemark an verschiedenen Seen ebenfalls derartige Beobachtungen durchführte. Im vorliegenden Fall wurde das Tiermaterial aus dem Skandenberg-See zu unterschiedlichen Jahreszeiten entnommen.

dabei war, dass die verschiedenen Parameter jeweils ein quantitativ messbares Merkmal aufweisen. Erst dann sah er sich in der Lage, mit Elementararten in Aquarien zu experimentieren, wobei er bei jedem Versuch alle variable Parameter konstant hielt und nur einen einzigen jeweils systematisch veränderte. Wir wollen uns an dieser Stelle exemplarisch nur mit einer Variablen begnügen, nämlich der Kopfhöhe, die einer saisonalen Variation unterliegt, wie sie in **Fig. 4** dargestellt ist. Woltereck hatte in seiner o. g. Publikation von 1909 in Fig. 12, S. 139 (hier **Fig. 5**) in einem Diagramm die Veränderungen der relativen Kopfhöhe (Phänotypenkurven; bezogen auf die Länge der Schalen eines Tieres;) von drei genetisch verwandten Elementararten aus drei norddeutschen Gewässern in Abhängigkeit

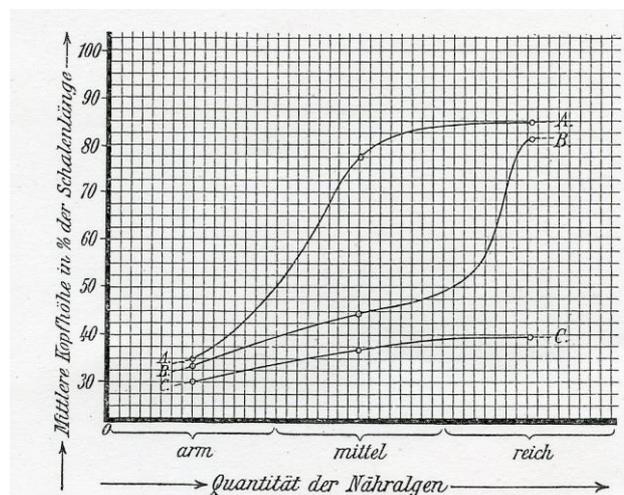




Fig. 5 Lagebeziehungen der Phänotypenkurven für die relative Kopfhöhe bei drei Elementararten von *Hyalodaphnia cucullata* (♀ ♀). **A**, Lokalart des Moritzburger Großeiches; **B**, desgleichen von Borsdorf; **C**, des Kospudener Sees.

von der Menge der in Kultur angebotenen Nahrung (Algen) ermittelt. Alle drei Elementararten wiesen bei geringem Nahrungsangebot eine vergleichbare relative Kopfhöhe von etwa 30 - 35 % auf. Bei Erhöhung des Angebots bei sonst unveränderten äußeren Bedingungen trennen sich jedoch die Wege. Während die Elementart **C** keinen deutlichen Helm entwickelt, geschieht dies bei den beiden anderen Elementararten bis zu einer Kopfhöhe von 80 - 90 %, allerdings mit unterschiedlicher Reaktionsdynamik. Während die Elementarart **A** bereits bei mittlerer Nahrungsquantität den Spitzenwert von etwa 85 % erreicht, verläuft der Anstieg bei **B** deutlich verzögert bis zum Maximalwert von etwa 82 % bei maximalem Nahrungsangebot. Alle drei Elementararten müssen also genetisch sehr ähnlich sein (vgl. die Kopfhöhen bei niedrigem Nahrungsangebot; Woltereck sagt selbst, dass er die Elementararten hinsichtlich anderer Parameter kaum unterscheiden könne), verhalten sich aber in ihrer Reaktion auf das Nahrungsangebot sehr unterschiedlich. Woltereck kam zu seiner nachhaltigen Schlussfolgerung: „*Der »Genotypus« (die genotyp. Grundlage) eines Quantitativmerkmals ist die vererbte Reaktionsnorm.*“ (Woltereck 1909:136). Mit anderen Worten: Für Woltereck besteht das Genom nicht nur aus Erbrägern, die spontan mutieren können, sondern beinhaltet ebenfalls das vererbte Vermögen, sich an veränderte Umweltbedingungen über Generationen hinweg anzupassen, ohne dass zunächst Mutationen auftreten. Daraus wäre zu folgern: bewährt sich eine Anpassung über Generationen hinweg, so können spätere Mutationen im Genom diese Anpassung stabilisieren und dafür sorgen, dass sich der Genotyp auf lange Frist adaptiv ändert. Das Ergebnis wäre somit eine durch die Reaktionsnorm vermittelte, über zwei Stufen umweltinduzierte Anpassung. Könnte es also doch ein zumindest indirekt wirksames lamarckistisches Prinzip geben?

Ontogenese und Epigenese

In **Fig. 2** haben wir den Begriff Ontogenese eingeführt. Wir verstehen darunter den Werdegang eines vielzelligen Organismus von der ersten Teilung des befruchteten Eies über die Juvenilphase bis hin zur Geschlechtsreife, die ihn fortpflanzungsfähig macht und damit seinen Beitrag zur Arterhaltung leisten kann. Aber: wie können aus einer einzigen Eizelle Hunderte von verschiedenen Zelltypen entstehen? Offenbar können im Verlauf der Ontogenese von den einzelnen Zellen unterschiedliche Entwicklungswege eingeschlagen werden. An dieser Stelle müssen wir uns zunächst mit dem Begriff der Epigenese vertraut machen. Geprägt wurde dieser von dem englischen Arzt William Harvey (1578-1657), der bei seinen Untersuchungen der Entwicklung des Hühnchens (in 1-Tages-Abständen bei etwa 38°C Temperatur in der Wärme von Dunghaufen) der Frage nachging, ob der Embryo schon von Anfang an vollständig existent (= präformiert) sei, oder durch Epigenese nach einem anfänglichen, morphologisch nicht erkennbaren Plan, sich allmählich zur adulten Form entwickle. Er kam schließlich zur Überzeugung, dass letzteres der Fall sein müsse: „*there is no part of the future offspring actually in being, but all parts are indeed present in it potentially*“. (Zitat aus Cobb, 2007, S.

131). Also: es sind am Anfang keine Teile des zukünftigen Embryos zu erkennen, sie sind aber potentiell vorhanden.

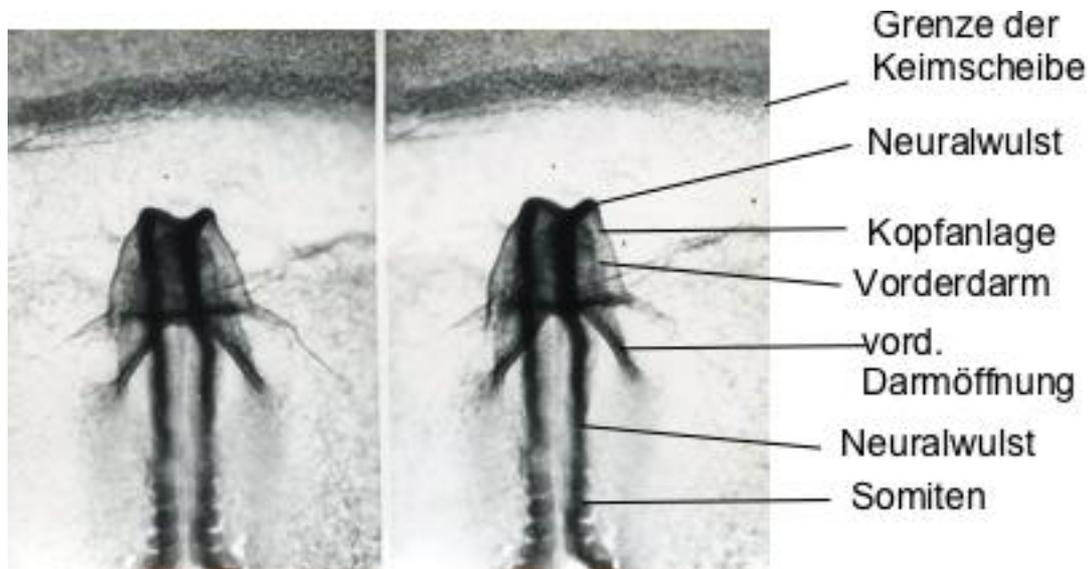


Fig. 6 Aufsicht auf einen ca. 25 Stunden alten Hühnchenembryo, jeweils separat aufgenommen durch das linke und das rechte Okular einer Stereolupe. Nach etwas Übung mit Schielen zur Mitte verschmelzen die beiden Bilder zu einem scheinbar dazwischen liegenden 3D-Bild, das die sich über die Keimscheibe herauswachsende Kopfanlage gut erkennen lässt. Die zuerst entstehende Keimscheibe selbst liegt dem Dotter flach auf. Die angesprochenen Strukturen sind Derivate der als erstes entstandenen drei Keimblätter **Ektoderm** (die äußere Epidermis und die beiden Wülste des sich aus jener durch Einstülpung bildenden Neuralrohres), das **Endoderm** (der nach rückwärts (caudal) noch offene Vorderdarm, der wie ein Fingerhut in die Kopfanlage hinein wächst). Vom **Mesoderm** stammen u. a. die segmental angelegten Somiten, deren Zahl mit fortschreitender Entwicklung nach caudal immer mehr zunimmt. Aus ihnen entwickeln sich u. a. das **Dermatom** (Hypodermis = Unterhaut), das **Sklerotom** (Wirbelkörper) und das **Myotom** (Rumpf- und Extremitätenmuskulatur). Die Darstellung ist stark vereinfacht und soll zumindest das Prinzip der fortschreitenden Organ- und Struktur differenzierung erkennen lassen. (Aufn. des Autors)

Zu einer vergleichbaren Feststellung kam etwa 100 Jahre später der Berliner Arzt Caspar Friedrich Wolff (1733-1794), der 1759 in seiner Doktorarbeit mit dem Titel „*Theoria generationis: Über die Entwicklung der Pflanzen und Thiere*“ im Falle des Hühnchens schrieb , dass der frühe Embryo (etwa nach 28 Stunden Bebrütung) „...im Uebrigen bloß aus wenig zusammenhängenden.....Kügelchen besteht, durchsichtig, beweglich und fast flüssig ist und weder Herz noch Gefässe, noch Spuren von rothem Blut erkennen lässt“ (Wolff 1759, §166). (An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass man zu Zeiten Wolff's Zellen noch nicht kannte. Man musste sich mit Begriffen wie *Flüssigkeiten, Säften* oder *Kügelchen* behelfen).

In **Fig. 6** sehen wir bei einem etwa 25 Stunden alten Hühnchenembryo, dass es die Kopfanlage ist, die sich zuerst aus der Keimscheibe heraushebt und die Differenzierung des gesamten Körpers in ihrem weiteren Verlauf in Richtung caudales Ende fortschreiten muss. Dabei entstehen in Raum und Zeit sukzessiv immer mehr spezifische Formen und Strukturen; z. B. beginnt die Herzanlage, auch wenn das Herz noch nicht vollständig ausdifferenziert ist, bereits am 2. Tag zu schlagen. Dadurch wird der Blutkreislauf zwischen Dotter und Embryo für dessen möglichst früh beginnende Ernährung in die Wege geleitet (vgl. dazu Fig, 2 des ersten Essays im JOSHA Journal Volume 3, Issue 4, in der dies bei einem etwa drei Tage alten,



sich auf der Oberfläche der Dotterkugel ausbreitenden Keimscheibe zum Ausdruck kommt.) Im Normalfall schlüpfen nach insgesamt 21 Tagen alle Küken mit dem mehr oder minder gleichen Phänotyp.

Man könnte meinen, dass ein festgelegter Entwicklungsplan für eine bestimmte Art ein generelles Prinzip im Tierreich sein müsste. Die ist aber nicht der Fall. Vor allem soziale Insekten (z. B. Bienen, Wespen, Termiten oder Ameisen), bauen zum Zweck der Arbeitsteilung in ihrem Bau ein ausgeprägtes Kastensystem auf, in dem die zukünftigen sterilen Arbeiterinnen bei unterschiedlicher Ernährung durch Geschlechtsgenossinnen während der Larvalzeit unterschiedliche Phänotypen zur Verrichtung verschiedener Arbeiten (z. B. externe Nahrungsbeschaffung, Feindabwehr, Füttern der Larven, Instandhaltung des Baus) entwickeln (s. **Fig.7**). Wir bezeichnen diese Erscheinung als *phänotypische Plastizität*. Sie ist Ausdruck einer engen Koppelung von Körperbau, Verhalten und sozialer Funktion der Individuen, die zu einer gegenseitig abhängigen Schicksalsgemeinschaft führt, deren einziges Ziel es ist, die gesicherte Existenz und den weiteren Fortbestand der Art zu gewährleisten.

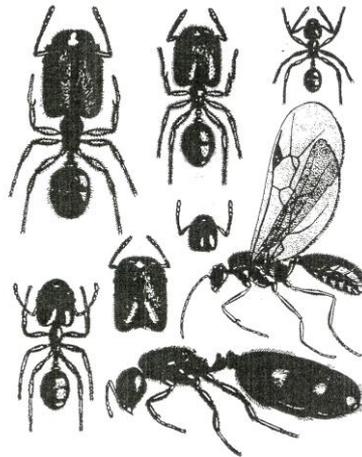


Fig. 7 Verschiedene Phänotypen bei den Kasten der Ameisenart *Pheidole kingi instabilis*. Rechts unten eine Königin und darüber ein geflügeltes Männchen, die für den Fortbestand der Art sorgen. Bei allen anderen abgebildeten Morphologien handelt es sich um sterile Arbeiterinnen. bzw. in zwei Fällen um isoliert dargestellte Köpfe. (Abb 54, S. 201 aus Maturana und Varela, 1987).

Koordinierte Entwicklungsmuster: in Raum und Zeit kanalisierte Prozesse

Wir müssen uns an dieser Stelle fragen, wie diese Entwicklungsschemata geordnet realisiert werden können. Hier stoßen wir nun auf den englischen Naturforscher und Philosophen C. H. Waddington (1905-1975), der in der Zeitschrift *Nature* schrieb: „*The main thesis is that developmental reactions, as they occur in organisms submitted to natural selection, are in general canalized. That is to say, they are adjusted so as to bring about one definite end-result regardless of minor variations in conditions during the course of the reaction*“ (Waddington 1942: 563). Er drückte mit diesen Worten aus, dass verschiedene Endmuster der Entwicklung jeweils ohne Rücksicht auf kleine Variationen stammesgeschichtlich unter dem Diktat der Selektion kanalisiert wurden. Er erfand die Metapher der *epigenetischen Landschaft*, in der eine Kugel (= Zelle) durch eine von Hügeln und verzweigten Tälern durchzogene Landschaft auf den Betrachter zurollt und durch die zeitliche Abfolge von binären entweder/oder-Entscheidungen schrittweise und sukzessive ein Determinationsmuster erhält, das der Zelle ein distinktes Entwicklungsschicksal vermittelt und sie zu einer differenzierten Zelle macht. Dieser



zeitliche Ablauf sei für jeden Zelltyp verschieden, so dass Entwicklung nicht ein Prozess sein kann, bei dem aus einem primordialen, ungeordneten Zellhaufen nach und nach ein geordneter Embryo entsteht, sondern von Anfang an eine Entwicklungsstrategie existieren müsse, die zur zeitlich und räumlich geordneten Zell- und Organdifferenzierung führt. Ihre stammesgeschichtliche Entstehung sei dafür verantwortlich, dass die einzelnen Entwicklungsmuster stabil sind (so wie es bei Wildtypen der Fall ist) und genetisch abgepuffert erscheinen, d. h. dass sich die rollende Kugel zwar innerhalb eines Tales hin- und herbewegen kann, ohne dieses jedoch zu verlassen.

Entscheidend sei, welche Faktoren die einzelnen Entscheidungen bestimmen. Waddington selbst konnte zu dieser Frage noch keine konkreten Antworten liefern. Er zieht als Beispiel für die mögliche Vererbung erworbener Eigenschaften verschiedene Modi der Geschlechtsbestimmung heran. Es sei eine allgemeine Annahme, dass „.....*the evolution of sexuality passed through a stage in which, [.....] the environment acted as a switch between two well defined alternatives; later genetic factors arose, which superseded the environmental determination by an internal one*“ (Ebd.564). Waddington vertritt also die Meinung, dass generell die Bildung der beiden Geschlechter in der Evolution zunächst durch die Umwelt kanalisiert wurde, die der Schalterfunktion der Umwelt (z.B. Temperatur, Licht) unterlag (wir sprechen heute von *phänotypischer Geschlechtsbestimmung*). Diese sei später durch innere, genetische Faktoren ersetzt worden. (Anm. 3, s. dort)

Durch diese, in der Regel über Geschlechtschromosomen vermittelte *genotypische Geschlechtsbestimmung*, treten die beiden Geschlechter in gleicher Häufigkeit 1:1 auf, wodurch der Fortbestand der Art gesichert sein sollte. Dies ist bei der phänotypischen Geschlechtsbetimmung, wie wir z. B. bei Eier-legenden Reptilien finden, weniger der Fall. Man denke nur an das Szenario der augenblicklichen rasanten Klimaerwärmung, die global zur Verschiebung des Geschlechtsverhältnisses vornehmlich in Richtung des durch die höhere Temperatur bestimmten Geschlechts (je nach Fall Männchen oder Weibchen) führen könnte. Zwar haben bei früheren Klimaschwankungen Reptilien immer wieder überlebt (mit Ausnahme der Saurier vor 65 Mio. Jahren, die als Folge eines Meteoriteneinschlages vor der Halbinsel Yukatan vornehmlich durch den Ausfall von Nahrungsketten zugrunde gegangen sein dürften). Können wir aber diese von Waddington für die Geschlechtsbestimmung formulierte Abfolge von primär umweltinduzierten Verhaltensweisen zu genetisch stabilisiertem Verhalten zu einem allgemeinen Prinzip erheben?

Die Organische Welt als ökologische Einheit?

An diesem Punkt der Betrachtungen stoßen wir auf den baltischen Biologen und Philosophen Jakob Baron von Uexküll (1864-1944), der sich nach dem Verlust seiner Güter im 1. Weltkrieg und auch anderer finanzieller Ressourcen, zur Erfüllung seiner wissenschaftlichen Ambitionen ein abwechslungsreiches und kämpferisches Forscherdasein führte und sich gegen Ende seines Lebens mit seiner Frau auf die Insel Capri zurückzog, wo er auch starb.

Der französische Philosoph René Descartes (1596-1650) hatte dem damaligen Zeitgeist in seinem berühmten Spruch „*L’homme-machine*“ (in erweiterter Form auch „*L’animal-machine*“ Ausdruck verliehen. Tier und Mensch waren für ihn aus bestimmten Teilen zusammengesetzte, mechanisch funktionierende Maschinen, ohne Bezug zur Umgebung. Es klaffte also eine Lücke zwischen den Tieren und der Welt, in der sie leben.



Mit diesem Bild machte v. Uexküll endgültig Schluss, er wurde zum Revolutionär. Für ihn waren Tiere aktiv in ihre Lebewelt integriert. Sie sind interaktive Bestandteile eines ökologischen Systems, die in ihrem Verhalten und in ihrer Physiologie auf die Umwelt, in der sie leben, abgestimmt sind. Am einfachsten sei diese neue ökologische Sichtweise mit **Fig.8** dargestellt, die v. Uexküll (Text) zusammen mit seinem Mitarbeiter Georg Kriszat (Abbildungen) in der populär gehaltenen Schrift „*Streifzüge durch die Umwelten von Tieren und Menschen. Ein Bilderbuch unsichtbarer Welten*“ 1934 in Berlin publizierte.

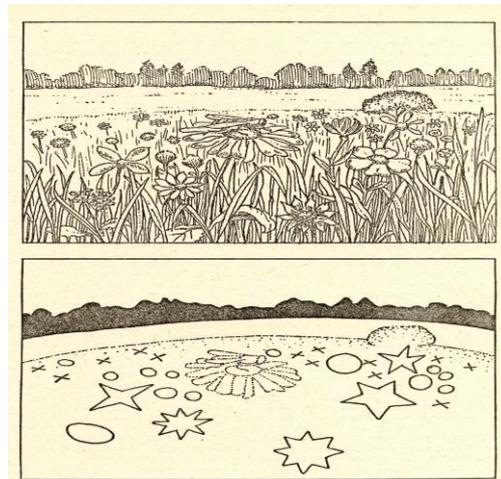


Fig. 8 Real existierende Umgebung (oben) und gefilterte Umwelt der Biene (unten). Im vorliegenden Essay stammt die abgebildete Kopie des von Georg Kriszat angefertigten Bildes aus dem Nachdruck des Buches, erschienen im Rowohlt-Verlag 1956 , Abb 23.

von Uexküll schreibt dazu:

„Wir sehen die Biene in ihrer Umgebung einer blühenden Wiese, auf der aufgeblühte Blumen und Knospen miteinander abwechseln.

Setzt man die Biene in ihre Umwelt und verwandelt die Blüten entsprechend ihrer Form in Sterne oder Kreuze, so werden die Knospen die unaufgelöste Form von Kreisen annehmen.

Daraus geht ohne weiteres die biologische Bedeutung dieser neu-entdeckten Eigenschaft der Bienen hervor. Nur die Blüten, nicht die Knospen haben für die Biene eine Bedeutung.

Die Bedeutungsbeziehungen sind aber, [.....] die einzig sicheren Wegweiser bei der Erforschung der Umwelten.“ (Ebd.:58)

Die Blüten stellen also Signale dar, die es den Bienen eines Stockes ermöglichen, ohne zeitraubende Fehlentscheidungen, gezielt jene Merkmale anzufliegen, die zum schnellen Sammeln des Blütennektars, der in Form von Honig in den Waben gelagert wird und für die Ernährung der adulten Tiere und Larven im Stock in ausreichendem Maße zur Verfügung steht (s. Anm.4). Die Summe dieser lebenswichtigen Merkmale stellt für v. Uexküll die **Merkwelt**



dar. Dies gilt nicht nur für die Biene, sondern auch für alle Tiere mit den für sie typischen Merkwelten (v. Uexküll 1956:26/27). Diese sind es, die der Optimierung ihrer Chancen zum individuellen Überleben und zur Arterhaltung dienen.

Schlussbemerkung

Wir konnten in den bisherigen Essays keine überzeugenden Argumente für die Gültigkeit des Lamarck'schen Prinzips (Vererbung von durch Gebrauch oder Nichtsgebrauch von Organen erworbener Eigenschaften) vorbringen. Die Frage nach den Ursachen drängt sich somit auf. Kann es an der Wahl ungeeigneter Beispiele liegen und/oder auch schlichtweg daran, dass wir uns grundsätzlich auf einer falschen Ebene bewegten? Wir müssen nämlich feststellen, dass der Ausgangspunkt unser Betrachtungen immer die ordnende Kraft der Gene war (vgl. **Fig. 2**).

„Von Albert Einstein stammt der berühmte Satz, dass ein Problem nicht auf der gleichen Ebene gelöst werden kann, auf der es entstanden ist.“ (Lipton und Bhaerman 2009, 16) Müssen wir uns also nach einer höher liegenden Ebene umsehen? Dieser Frage nachzugehen, soll Gegenstand des nächsten Essays werden, in dem wir uns mit dem Phänomen der Epigenetik vertraut machen.

Anmerkungen

1) Ernst Weickmann, tätig in Landshut, beherrscht die Kunst des Marmorierens. Auf die Oberfläche einer kolloidalen Polysaccharidsuspension wird ein Gemisch von unterschiedlich gefärbten Pigmenten und Materialien - in lipidhaltigen Medien suspendiert oder gelöst - aufgetragen. Durch materialbedingte hydrophile und hydrophobe Wechselwirkungen zwischen den Wasser- und Ölphasen entstehen an der Oberfläche zelluläre und faserige Spreitungsmuster ohne erkennbare strukturelle Ordnung. Die Muster werden am Schluss auf spezielles Papier übertragen und getrocknet und damit dauerhaft konserviert.

2) In Schrödingers Buch finden wir eine allgemein verständliche Beschreibung mit dem Untertitel »Was ist Entropie?«: „Wenn man einen festen Körper zum Schmelzen bringt, so nimmt seine Entropie um den Betrag der Schmelzwärme, dividiert durch die Temperatur des Schmelzpunktes, zu. Daraus ersieht man, daß die Einheit, mit der Entropie gemessen wird, cal./°C ist.“ (Schrödinger 2006:126) Bei Wasser wäre dies z.B. der Übergang von Eis zu Wasser bei etwa 0 °C, in dessen Verlauf die geordnete Kristallstruktur der Wassermoleküle durch Aufnahme von Entropie in Form von Wärme aus der Umgebung bei annähernd gleich bleibender Temperatur in die ungeordneten Bewegungen der nun entropiereicheren Wassermoleküle überführt wird. Das bedeutet z. B., dass bei den beschriebenen Vorgängen nach deren Stabilisierung die Entropie ihr Maximum erreicht hat und ohne Störung von außen in diesem Zustand, der zugleich auch dann die größte Wahrscheinlichkeit der Existenz des Systems in dieser Form besitzt.

Heutzutage wird Entropie u. a. in Joule / °K dimensioniert (1 Joule (J) \sim 0,239 cal; K = Temperatur in Kelvingrad, wobei der Nullwert bei etwa - 273 °C liegt).

3) Die genotypische Geschlechtsbestimmung durch spezielle Geschlechtschromosomen ist äußerst komplex und vielfältig. Es würde zu weit führen, in die Thematik an dieser Stelle näher einzusteigen, da auch die Autosomen beteiligt sein können. Wir können aber davon ausgehen, dass z. B. bei Säugern Geschlechtschromosomen (Heterosomen) sich aus einem Paar von homologen Autosomen entwickelt haben. (Hampikian et al, 1994, 154), Diese mussten im Verlauf der Evolution genetisch verschieden werden und durch Unterdrückung von Rekombinationsereignissen (z.B. durch Heterochromatisierung) oder durch Chromosomenmutationen (Deletionen, Inversionen, Translokationen) zwischen ihnen deren unterschiedliche genetische und cytologische Zusammensetzung stabilisieren.



Die Entwicklung von Geschlechtchromosomen bildete eine wichtige Grundlage für die Entstehung der sexuellen Fortpflanzung, die – neben vielen anderen Möglichkeiten - zu einer Beschleunigung von evolutionären Prozessen führte. Vielfach wurde in diesem Zusammenhang die *Red Queen*-Hypothese angesprochen, die sich auf einen an *Alice* gerichteten Ausspruch der *Schwarzen Königin* (im Englischen = *Red Queen*) bezieht, der dem Buch *Alice hinter den Spiegeln* von Lewis Carroll (1832-1898; britischer Autor, bekannter durch *Alice im Wunderland*) entnommen ist: „Also, hier musst so schnell rennen, wie du nur kannst, um zu bleiben, wo du bist. Wenn du woanders hinwillst, musst du mindestens doppelt so schnell rennen!“ (Carroll 2012, 36). Im Kontext zur Evolution sagt uns diese Metapher: nur Organismen, die sich schnell genug anpassen, können in der Auseinandersetzung mit der Umwelt überleben.

Inwieweit die genotypische Geschlechtsbestimmung immer von Vorteil ist, müssen wir hier offen lassen. So vertritt z. B. der amerikanische Wissenschaftler N. Valenzuela die Meinung, dass die phänotypische Geschlechtsbestimmung durch die Temperatur flexibler sei als die genotypische Geschlechtsbestimmung und in der Evolution, je nach Effizienz unter den gegebenen Umständen, auch ein reversibler Wechsel zwischen den beiden Modi denkbar sei. (Valenzuela 2008, 69) Wir müssen aber im Auge behalten, dass die Gene dabei stets mit im Spiel sind und sei es auch noch so sehr im Hintergrund (**vgl. Fig. 2**)

4) Es kommt somit nicht von ungefähr, dass sich der Mensch diese Zusammenhänge für seine eigenen Zwecke durch pragmatische Bienenstammzuchtungen mit optimierten Erträgen zunutze machte.

Danksagung: Der Autor dankt Herrn Prof. a.D. Dr. Wilfried Janning für seine sehr hilfreiche und kritische Durchsicht des Manuskripts

Zitierte Literatur

- Avery, O., MacLeod C. und McCarty, M., 1944. Studies on the Chemical Transformation of Pneumococcal Types. *J. exp. Med.*, 79, 137-158
- Carroll, L., 2012 (1871) *Alice hinter den Spiegeln*. Köln: Anaconda
- Chargaff, E., 1979. *Das Feuer des Heraklit. Skizzen aus dem Leben vor der Natur*. Stuttgart: Klett-Cotta
- Cobb, M., 2007. *The Egg & Sperm Race. The Seventeenth-Century Scientists Who Unravalled the Secrets of Sex, Life and Growth*. Pocket Books, Simon & Schuster UK Ltd. A CBS COMPANY
- Edlbacher, S., 1928. *Albrecht Kossel zum Gedächtnis*. Berlin und Leipzig: Walter De Gruyter & Co.
- Fischer, E. P., 1985. *Licht und Leben. Ein Bericht über Max Delbrück, den Wegbereiter der Molekularbiologie*. Konstanz: Universitätsverlag Konstanz GmbH
- Hampikian, G.K., Cooper, und D. W., Marshall Graves, 1994. Sexdetermination in Marsupials and Monotremes. In: Wachtel, S. S., (Hrsg.) 1994. *Molecular Genetics of Sex Determination*. San Diego: ACADEMIC PRESS
- Kean, S., 2013. *Doppelhelix hält besser. Erstaunliches aus der Welt der Genetik*. Hamburg: Hoffmann und Campe
- Lipton, B. und Bhaerman, S., 2009, *Spontane Evolution – Wege zum neuen Menschen*. Burgrain: KOHA
- Maturana, H.R. und Varela, F.J., 1987. *Der Baum der Erkenntnis – Die biologischen Wurzeln menschlichen Erkennens*. München: Goldmann
- Mayr, E., 2003. *Das ist Evolution*. München: C. Bertelsmann, Random House GmbH
- Olby, R., 1974. *The Path to the Double Helix*. London: The Macmillan Press Ltd.
- Schrödinger, E., 2006. *Was ist Leben? Die lebende Zelle mit den Augen eines Physikers*



- betrachtet. München Zürich: Piper, 8. Aufl.
- Schoerbel, J., 1985. Weismann und die Erforschung des limbischen Zooplanktons. In: August Weismann (1834-1914) und die theoretische Biologie des 19. Jahrhunderts. Freiburger Universitätsblätter K. Sander (Hrsg.) Freiburg: Rombach
- Uexküll, J. von, Kriszat, G., 1934. Streifzüge durch die Umwelten von Tieren und Menschen. Ein Bilderbuch unsichtbarer Welten. Berlin: Sammlung: „Verständliche Wissenschaft“
-----, 1956. Streifzüge durch die Umwelten von Tieren und Menschen /
Bedeutungslehre. Hamburg: Rowohlt
- Valenzuela, N., 2008. Sexual Development and the Evolution of Sex Determination. *Sex Dev.*, 264-72
- Waddington. C.H., 1942. Canalization of development and the inheritance of acquired characters. *Nature* 150: 563-565. London: Macmillan
- Watson, J.D., Crick, F. H. C., 1953. The structure of DNA. Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol. 18, 123-131
- Wolff, C.F., 1759. *Theoria Generationis: Über die Entwicklung der Pflanzen und Thiere. I., II. und III. Theil.* Übers. und hrsg von P. Samassa. - Nachdruck der Ausgabe Leipzig. Engelmann, 1896).- Thun; Frankfurt/Main: Harri Deutsch, 1999

Vertiefende und weiterführende Literatur/Lehrbücher

- Bogin, B., 1988. Patterns of human growth. Cambridge (UK): University Press
- Chargaff, E., 1979. Das Feuer des Heraklit. Skizzen aus dem Leben vor der Natur. Stuttgart: Klett-Cotta
- Janning, W., Knust, E., 2008. Genetik – Allgemeine Genetik – Molekulare Genetik – Entwicklungsgenetik. 2. Auflage. Stuttgart · New York: Thieme
- Lux, V., Richter, J.T. (Hrsg.) 2014. Kulturen der Epigenetik: Vererbt, Codiert, Übertragen. Berlin/Boston: de Gruyter
- Olby, R., 1974. The Path to the Double Helix. London: The Macmillan Press Ltd.
- Maturana, H.R. und Varela, F.J., 1987. Der Baum der Erkenntnis – Die biologischen Wurzeln menschlichen Erkennens. München: Goldmann
- Mukherjee, S., 2017. Das Gen – Eine sehr persönliche Geschichte. Frankfurt am Main: S. Fischer
- Sarkar, S. M., 1999. From the *Reaktionsnorm* to the Adaptive Norm: The Norm of Reaction, 1909-1960. *Biology and Philosophy* 14: 235-252. Kluwer Academic Publishers
- Wachtel, S. S., (Hrsg.) 1994. Molecular Genetics of Sex Determination. San Diego: ACADEMIC PRESS
- Waddington, C.H., 1966. New Patterns in Genetics and Development. New York: Columbia University Press
- Watson, J.D., 1969. Die Doppelhelix. Reinbeck bei Hamburg:Rowohlt
- Wilkins, A.S., 2002. The Evolution of Developmental Pathways. Sunderland: Sinauer Associates, Inc.