

14.05.2020

Evolutionsschritt Bilaterale Symmetrie

⇒ Dieser Artikel behandelt einen grundlegenden Mechanismus, der im Einklang mit heutigem Wissen zum Verständnis höherer Lebensformen auf Basis bilateral-symmetrischer Körperform beiträgt. Dem markanten Evolutionsschritt, der sich in kurzer Zeit vollzog, wird ein mögliches Funktionsschema zu dessen Erklärung gegenübergestellt.

Der Evolutionsschritt zu bilateral-symmetrischen Körperformen vollzog sich in zeitlicher Nähe zum Aufkommen zentraler Nervensysteme und des Blutkreislaufs. Ausgangspunkt für den mit diesem Artikel formulierten Zusammenhang ist der durch Proteine im Ablauf gesteuerte Zellzyklus bei der Zellteilung. Ein kontrolliertes und im Ergebnis symmetrisches Wachstum könnte durch den axonalen Transport über Nervenfasern von Proteinen ermöglicht werden. Kern des besprochenen Mechanismus ist ein körperseiten-überbrückender Kreislauf für den Protein-Transport. Eine Pumpwirkung wird über Agonist-Antagonist-Organpaare erzeugt und die Umlaufrichtung über Nervenreize festgelegt.

Inhaltsverzeichnis

- 1 Einordnung
- 2 Baukasten der Evolution
- 3 Synchronisation der Partner-Organen beider Körperseiten
- 4 Mechanismus zur Durchsetzung bilateraler Symmetrie
- 5 Wissenschaftliche Bedeutung
- 6 Bedeutender Sprung in der Evolution
- 7 Entwicklung der Evolution hin zur Symmetrie
- 8 Erzeugung einer Trennung in rechts und links
- 9 Logik des Vorgehens und Symmetrie

Einordnung

Lebewesen sind selbst-organisierende, komplexe Strukturen. Ist es möglicherweise erst ihre fertige Form, welche die Komplexität so undurchdringlich erscheinen lässt? Die Evolution wird durch Zufälle vorangetrieben. Nach den Gesetzen der Wahrscheinlichkeit sind bei sehr langen Zeiträumen auch weniger wahrscheinliche Zufälle zu erwarten. So kommt es zu markanten Evolutionsschritten. Die Idee nun ist, dass die in der Gesamterscheinung enorme Komplexität bilateral-symmetrischer Körperformen aus einer Vielzahl an Folgeentwicklungen hervorgeht. Am Anfang aber steht ein einziger grundlegender Mechanismus, dessen Realisierung nicht sehr viele Zufälle in einem Schritt erfordert. Mehrere und vor allem gleichzeitige Zufälle würden bedeuten, dass ein fertiges Lebewesen gewissermaßen vom Himmel fallen könnte. Im Folgenden wird zuerst der besprochene Mechanismus mit einem für bilateral-symmetrische Lebewesen geeigneten Funktionsschema vorgestellt. Dabei werden Zusammenhänge mit Evolutionsschritten, die zum Teil vor der bilateralen Symmetrie notwendig waren, gezeigt. Danach werden noch Zusammenhänge und Merkmale gesammelt, die sich in Einklang mit dem besprochenen Symmetrie-Mechanismus einordnen lassen.

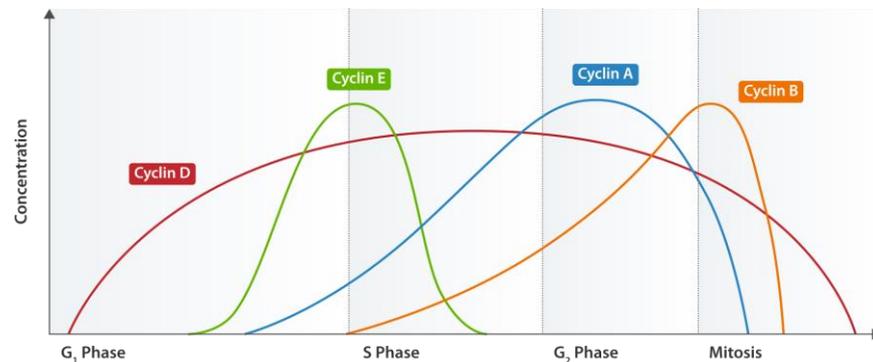
Baukasten der Evolution

Der in diesem Artikel vorgestellte Mechanismus beruht auf einer Reihe an bekannten Funktionen und Eigenschaften, die für das spätere Verständnis der Zusammenhänge wie folgt kurz aufgelistet werden sollen. Dies ist gewissermaßen Teil des Baukastens, welcher der Evolution zur Verfügung steht und mit dessen Hilfe ein grundlegender Mechanismus zu rekonstruieren ist. Dabei muss klar sein, dass Vieles noch im Detail hinsichtlich Funktion, Auftreten in der Evolution und genauen Abfolge im Wachstum von Lebewesen zu erforschen ist. Von Bedeutung ist das jeweilige Prinzip, das mit den Eigenschaften verbunden ist.

Prinzip Funktionen und Eigenschaften im Baukasten der Evolution

Im Ablauf gesteuerte Zellteilung

Cycline sind Proteine, die bei allen Eukaryoten vorkommen und an der Regelung des Zellzyklus beteiligt sind. Zu unterscheidbaren Phasen des Zellzyklus werden charakteristische Cycline-Konzentrationen beobachtet.



Quellen: www.spektrum.de, www.wikipedia.de

Transportweg über Nervenfasern

Beim schnellen axonalen Transport handelt es sich hpts. um Vesikel, das sind rundliche Bläschen, welche durch Motorproteine bewegt werden mit Geschwindigkeiten von 25 bis 40 Zentimeter pro Tag. Der Transport kann sowohl stromabwärts in Richtung der Synapse erfolgen, als auch in umgekehrter Orientierung von der Synapse in Richtung Soma.
Quelle: www.wikipedia.de

Nervenreize an die Muskulatur durch Motoneurone

Das obere Motoneuron ist für die bewusste Auslösung der Bewegung zuständig. Seine Zellkörper, die Betzschen Riesenzellen, liegen in der motorischen Rinde im Großhirn. Die Axone bzw. Nervenfasern bilden die Pyramidenbahn. Sie ziehen nie direkt zu den Muskeln, sondern immer zum unteren Motoneuron im Rückenmark. Das untere Motoneuron ist der eigentliche Impulsgeber für die Muskeln. Sein Zellkörper liegt im Vorderhorn, auch: Ventralhorn, der grauen Substanz des Rückenmarks.
Quelle: www.wikipedia.de

Paarweises Auftreten von Muskeln, die bei Bewegungen zusammenspielen

Der Antagonist ist ein Muskel und Gegenspieler des Agonisten. Das muskuläre Zusammenspiel von Gliedmaßen des Körpers wird auch als Gegenspielerprinzip bezeichnet. Die klassische Anatomie geht davon aus, dass dieses Prinzip am Beispiel der Beuge- und Streckmuskeln am Arm folgendermaßen beschrieben werden kann: Wenn der Bizeps beim Anbeugen des Arms aktiv verkürzt wird, wird der Trizeps passiv gedehnt.
Quelle: www.wikipedia.de

Agonist und Antagonist auf

Zum Beugereflex beim Treten auf eine Reißzwecke: Über Interneurone im Rückenmark werden die Flexoren auf einer Körperseite erregt und die

<p>der anderen Körperseite können über verbundene Reize angesprochen werden</p>	<p>Extensoren gehemmt. Gleichzeitig werden ebenfalls über Interneurone die Extensoren auf der gegenüberliegenden Seite erregt und die Beuger gehemmt – gekreuzter Streckreflex. Wenn ein Bein wegen Schmerzen hochgezogen wird, wird das andere gestreckt und kann nun das Körpergewicht tragen. Der Beugereflex nützt so als Schutz vor schädigenden Reizen und wird auch als nozizeptiver Schutzreflex bezeichnet. Quelle: http://www.herzinger-wolfgang.de</p>
<p>Bilaterale Symmetrie ab der Keimblattentwicklung</p>	<p>Die Embryonalentwicklung beschreibt die Entwicklungsschritte über die Keimblattentwicklung und Entstehung des Neuralrohrs, aus dem das zentrale Nervensystem mit Rückenmark und Gehirn entsteht. Bereits im frühen Stadium bildet sich auf dem Epiblast die sogenannte Primitivrinne, die das neue Leben in zwei symmetrische Bereiche aufteilt. Quelle: www.amboss.com</p>
<p>Zentralkanal führt die mit Keimblatt entstandene Symmetrie fort</p>	<p>Der Zentralkanal ist ein im Rückenmark zentral gelegener enger Kanal, der Gehirn-Rückenmark-Flüssigkeit enthält. Er erstreckt sich über die gesamte Länge des Rückenmarks und setzt sich in das verlängerte Mark des Gehirns fort. Der Zentralkanal geht aus dem Lumen des embryonalen Neuralrohrs hervor. Sein schmaler flüssigkeitsführender Hohlraum ist mit den inneren Hohlräumen des Gehirns verbunden. Quelle: www.wikipedia.de</p>
<p>Untere Motoneurone gibt es nur im bauchseitigen bzw. ventralen Bereich des Rückenmarks</p>	<p>Das Sonic-hedgehog-Protein, kurz: Shh, ein vom Chordafortsatz und später von der Neuralplatte abgesondertes Glycoprotein, unterdrückt Gene, welche für die Ausbildung der dorso-ventralen Polarität verantwortlich sind. Damit ist die Aufteilung des Rückenmarks in einen auf sensorische Funktionen und einen auf motorische Funktionen spezialisierten Teil gemeint. Die Differenzierung von Motoneuronen im ventralen, zum Bauch hin orientierten Rückenmark wird ermöglicht. Quelle: http://www.embryology.ch</p>

Eine Fortführung und Detaillierung wären möglich. Daher soll diese Auflistung als eine Brücke zum Stand der Wissenschaft und als möglicher Startpunkt für von diesem Artikel unabhängige Studien gesehen werden. Ihr Zweck ist es, relevante und bereits wissenschaftlich überprüfte Prinzipien für die nachfolgenden Überlegungen zugrunde zu legen.

Synchronisation der Partner-Organen beider Körperseiten

Das Leben muss sich seine Formgebung durch Wachstum und Zellteilung erschließen. Dabei soll für den Mechanismus hinter bilateral-symmetrischen Körperformen die folgende These vorangestellt werden: Gleiche Organe auf der Basis gleicher Zelltypen, die später paarig auf der linken und rechten Körperseite auftreten, müssen ihre jeweiligen Zellzyklen gegenseitig steuern. Die separate Lage der paarigen Organe erfordert eine im ganzen Körper und schon anfangs im Bereich der Keimblätter weitreichende Signalübertragung.

Das Wesen der Sache ist eine selbst-organisierte Steuerung. Das gelingt mit der Vorstellung von einer Rolle des Steuerns und einer des Gesteuert-Werdens bei der Zellteilung. Linkes und rechtes Partner-Organ oder -Muskel nehmen im Wechselspiel beide Rollen an. Die Funktion des Steuerns wird durch Proteine vermittelt. Die Evolution hatte bereits vor der bilateralen Symmetrie einen über Phasen gesteuerten Zellzyklus entwickelt, in dessen Rhythmus sich ganze Bündel an Zellen synchron teilen. Erst wenn die Reife für den Eintritt in

eine neue Phase erreicht ist, wird die Erzeugung von jeweils passenden Cyclin-Proteinen beobachtet, die den Start der Phase begleiten.

Annahme für den Mechanismus zur bilateralen Symmetrie: Ohne Verbindung zum Partner-Organ würde die Zellteilung stocken. Mit dem Evolutionsschritt kommt die Hemmung eines bestimmten, für den Start einer Zellzyklusphase benötigten Cyclins stärker zur Geltung, wenn einem Organ ein passendes Cyclin von außen zugeführt wird. Angenommen wird, dass diese Bereitstellung von außen durch das kontralaterale Partner-Organ erfolgt. In der Folge ist ein kontrolliertes und möglicherweise auch effizienteres Wachstum zu erwarten.

Die Transportwege über Nervenfasern hätten eine für die Synchronisation der Partner-Organ beider Körperseiten passende Geschwindigkeit, so dass Zellzyklusphasen mit größer werdendem Organismus etwa im Bereich von Tagen zu erwarten wären. Ein im Laufe der symmetrischen Entwicklung zeitweise kleineres Partner-Organ würde entsprechend weniger Cyclin-Proteine für die Steuerung erzeugen und damit weniger Zellen seines Partners eine Zellteilung ermöglichen. Die Mengenverhältnisse der bei der Teilung unterstützten Zellen würden sich selbst-reguliert auf beiden Körperseiten angleichen.

Mechanismus zur Durchsetzung bilateraler Symmetrie

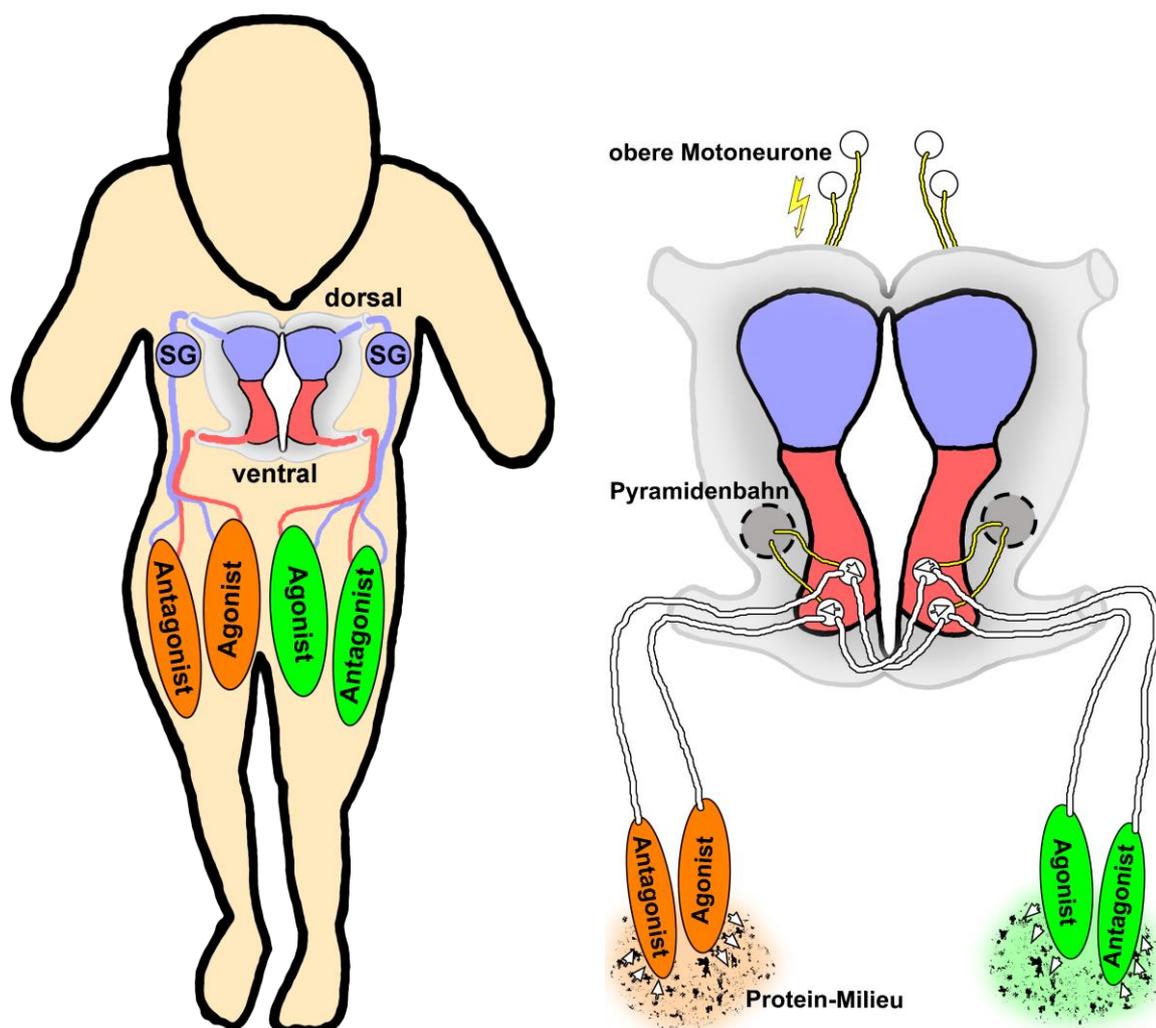


Bild: Mechanismus für den Evolutionsschritt zur bilateralen Symmetrie

Kreuzweise Kopplung der Agonisten und Antagonisten auf beiden Körperseiten:

Wir wissen, dass das untere Motoneuron für den Agonist auf einer Körperseite und das Motoneuron für den entsprechenden Antagonisten auf der anderen Körperseite über im Rückenmark miteinander verbundene Reize gleichzeitig angesprochen werden können.

Wir nehmen an, dass es direkte Verbindungen von der linken zur rechten Seite des Rückenmarks gibt, die auch den Transport von Proteinen ermöglichen und die kreuzweise Agonisten und gegenüberliegende Antagonisten koppeln.

Kontraktionswirkung der Organe:

Wir wissen, dass aus dem Rückenmark ausziehende Nervenfasern jeweils Agonisten und Antagonisten erreichen und diese mit Proteinen wie auch mit elektrischen Reizen versorgen können. Auch können Proteine zurück in Richtung Rückenmark transportiert werden.

Wir nehmen an, dass die angebundenen Organe über elektrische Reize durch Kontraktion eine Pumpwirkung erzeugen. Diese Wirkung kann entweder Proteine aus der Nervenfaser in das Organ oder alternativ Proteine aus dem Milieu des Organs in die Nervenfaser in Richtung Rückenmark befördern. Es kann sich ein mechanisch angetriebener Kreislauf bilden.

Obere Motoneurone steuern Agonist und Antagonist:

Wir wissen, dass die oberen Motoneurone in einem Abstand von bis zu einem Meter eine eindeutige und direkt Verbindung zu ihrem jeweiligen unteren Motoneuron haben, so dass ausgehend vom Großhirn jeder Agonist und jeder Antagonist individuell angesprochen wird.

Wir nehmen an, dass obere Motoneurone zu einem Agonist-Antagonist-Paar Reize aussenden, die in einem zeitlichen Zusammenhang stehen, aber aufgrund der Verschaltung der oberen Motoneurone nicht gleichzeitig ankommen. Wir nehmen weiterhin an, dass mit Entstehung des Mechanismus festgelegt wird, welche abgehende Nervenfasern stets den ersten elektrischen Reiz leitet. Damit würde der Agonist als solcher definiert. Kontraktionen und Pumpwirkungen würden in der Reihenfolge, zuerst Agonist - dann Antagonist, ausgelöst.

Ein mechanisch angetriebener Protein-Kreislauf entsteht durch das beginnende Pumpen des Agonisten, durch das Proteine aus seiner Nervenfaser in das Milieu des Organs gelangen und dort kurzfristig einen Überdruck erzeugen. Die zeitlich versetzte Pumpwirkung des Antagonisten würde in der frühen Phase der Entwicklung durch den umgebenden Überdruck beeinflusst und den Transport von Proteinen in Richtung der Nervenfaser ausrichten. Im Ergebnis würde die Abfolge der Nervenreize zum Schließen des Protein-Kreislaufs und zu einer Verfestigung seiner Umlaufrichtung führen.

Wissenschaftliche Bedeutung

Die bilateral-symmetrische Körperform bei höheren Lebensformen ist eine unübersehbare Auffälligkeit. Dieser kann – wie dies in den vorangegangenen Abschnitten vorgeschlagen wurde – ein mögliches Funktionsschema gegenübergestellt werden. Der wissenschaftliche Wert liegt in der Systematisierung von Beobachtungen und deren Einordnung in einen Gesamtzusammenhang. Man denke etwa an die Genetik, mit deren Hilfe und auf Basis statistischer Analyse Lebewesen in einen Stammbaum einzuordnen sind. Die Kenntnis von Zusammenhängen leistet einen grundlegenden Beitrag für anknüpfende Forschungen und eröffnet neue, erfolgversprechende Denkrichtungen.

Es wird schwerfallen, die Entstehung bilateral-symmetrischer Körperformen wissenschaftlich exakt nachzuzeichnen. Das in diesem Artikel vorgeschlagene Funktionsschema ist sehr vereinfacht und es gibt eine enorme Vielzahl an gesicherten medizinischen und neuro-

physiologischen Erkenntnissen. Diese dürften bei genauem Hinsehen sicherlich noch zu notwendigen Korrekturen am vorgeschlagenen Funktionsschema führen.

Im Bild oben zum Mechanismus für den Evolutionsschritt zur bilateralen Symmetrie ist ein Rückenmarksquerschnitt dargestellt. Die Darstellung zeigt das Rückenmark in einer mittleren Phase der Embryonalentwicklung. Nach heutigem Wissensstand ist schwer zu entscheiden, welche Wissenschaftsbereiche am besten zu einer Erklärung beitragen. In der Embryonalentwicklung geht es etwa um die Abfolge bei der Entstehung neuronaler Zellen, deren Zelldifferenzierung und das segmentweise Auswandern von Mesodermzellen. In der Neurophysiologie steht dagegen ein enormes Wissen über funktionale Details, etwa zu Reflexen bereit. Daraus ist eine Sicht auf die neuronale Verschaltung im Rückenmark zu gewinnen.

Das oben dargestellte Funktionsschema ließe sich dann bei Bedarf noch um sensorische Nervenreize erweitern. Damit wäre der Frage nachzugehen, in welchem Zusammenhang die körperseitenüberbrückende Verbindung zwischen Motoneuronen besser zu verstehen ist. Bei sensorisch, also nicht willensgesteuert ausgelösten Reflexen unterscheidet man:

- **Monosynaptische Eigenreflexe:**
Das sind Eigenreflexe, die zur Körperstabilisierung dienen; aufsteigende Nervenreize, sog. Afferenzen von einem Muskel etablieren Kontakte mit Motoneuronen desselben Muskels im Rückenmark; Schlag mit einem Reflexhammer führt zum Muskelzucken;
- **Fremdreflexe:**
Zwischen Afferenzen und absteigenden, motorischen Nervenreizen, sog. Efferenzen sind Interneurone zwischengeschaltet; diese dienen zum Körperschutz, Lidschlussreflexe, Fluchtreflexe etc.; Flexorreflex: schmerzhafte Reizung führt zu einem Wegziehen der betroffenen Extremität durch Gelenkbeugung, z.B. Fußsohlenreflex, ipsilaterale Extensoren werden gleichzeitig gehemmt.

Quelle: <http://stud.neuro-physiol.med.uni-goettingen.de>, Skript zum Sommersemester 2016

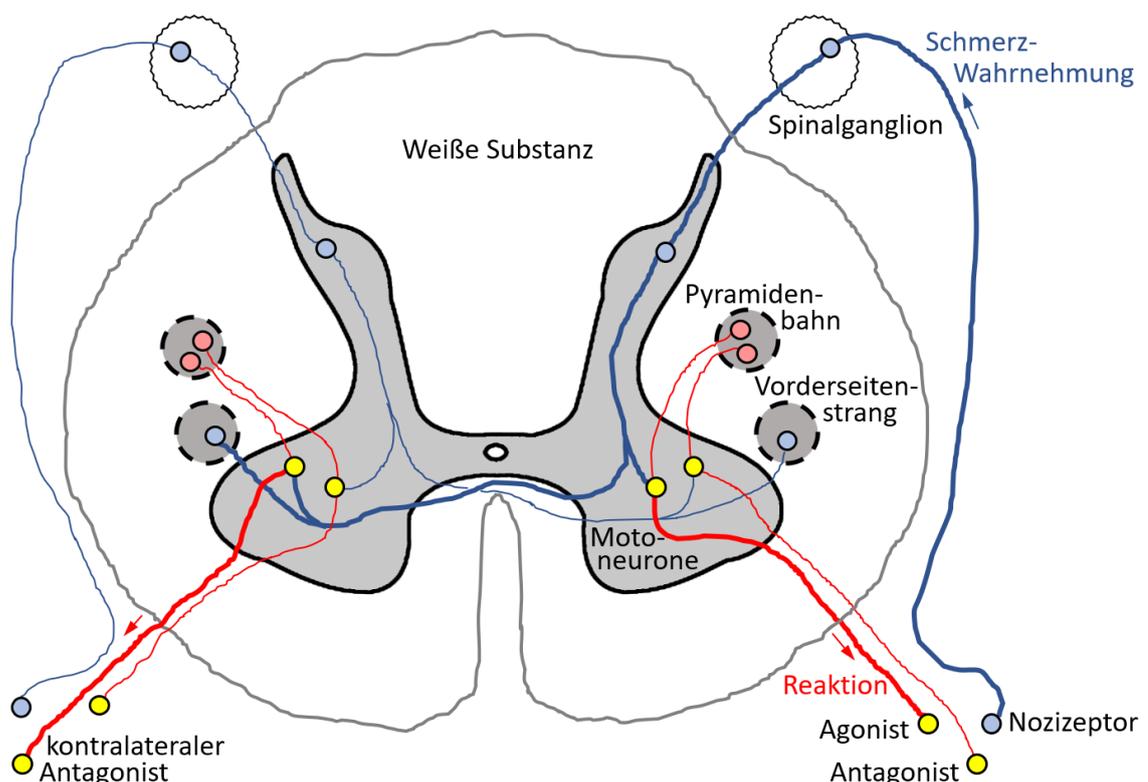


Bild: Mechanismus zur bilateralen Symmetrie erweitert um sensorische Verschaltung

Der im Bild dargestellte Vorderseitenstrang enthält den sogenannten Tractus spinothalamicus lateralis, eine aufsteigende Faserbahn im seitlichen Rückenmark. Seine Fasern leiten vor allem protopathische Empfindungen – Schmerz, Temperatur – zum Thalamus. Mit Linien in fetter Darstellung wird der Signalweg beim Auftreten eines Fremdreflexes gezeigt, welcher Agonist- und passenden Antagonist-Muskel der anderen Körperseite im Verbund anspricht. Wissenschaftlich nachgewiesen ist eine Kette nacheinander geschalteter Neurone:

1. Neuron in einem Spinalganglion vor dem Eintritt ins Rückenmark,
2. Neuron in einem Hinterhorn des Rückenmarks,
3. Neuron im Nucleus ventralis posterolateralis im kontralateralen Thalamus im Gehirn.

Quellen: www.wikipedia.de, Lemniskales System und <https://flexikon.doccheck.com>, Tractus spinothalamicus lateralis

In den Skripten der Neurophysiologie sind weitere und weitaus kompliziertere neuronale Verschaltungen, die auf Motoneurone einwirken, beschrieben. Der hier zur Erweiterung ausgewählt Reflex erscheint für eine Erklärung des Symmetrie-Mechanismus aus mehreren Gründen als relevant. Er transportiert Schmerzen zum Körperschutz und dürfte damit in der Evolution sehr früh eine Rolle gespielt haben. Das im Hinterhorn beteiligte Neuron wirkt ohne weitere zwischengeschaltete Neurone direkt auf die Motoneurone. Die Verschaltung in dieser Einfachheit erscheint eher wahrscheinlich für ein frühes Auftreten in der Evolution.

Auf dem Weg der Nervenfasern vom zweiten Neuron im Hinterhorn über einen Wechsel auf die kontralaterale Seite zum Thalamus im Gehirn zweigen Nebenäste der Faser, sogenannte Kollaterale ab. Diese wirken auf der einen Körperseite auf das Motoneuron eines Agonisten und auf der anderen auf das passende Motoneuron zum entsprechenden Antagonisten. Mit und zwischen den Kollateralen wird die Verbindung geschaffen, die Teil des Transportwegs wird und die Brücke für den vorgeschlagenen Proteinkreislauf von links nach rechts bildet.

Eine letzte Annahme könnte zum Schluss noch hilfreich sein. Der Protein-Kreislauf soll in der Embryonalentwicklung für viele Muskel- und Organgruppen entstehen. Seine Komplexität sollte hinreichend klein sein, damit nicht Zufälle mit geringer Wahrscheinlichkeit zur Vorbedingung werden. Sonst wäre der Symmetrie-Mechanismus aus statistischen Gründen fraglich. Die Annahme ist, dass vom Hinterhorn sehr viele geeignete sensorische Nervenfasern mit Nebenästen zu Motoneuronen auf beiden Seiten des Rückenmarks zum Gehirn aufsteigen. In einem frühen Stadium der Entwicklung könnten aus der Vielzahl dieser Nervenfasern sich kreuzende Paare gebildet werden. Anzunehmen ist, dass der Protein-Kreislauf von Anfang an zur Stimulierung nicht nur der Zellteilung, sondern auch des Zusammenfindens der für das Bauprinzip notwendigen Elemente Agonist, Antagonist und Nozirezeptor beiträgt.

Bedeutender Sprung in der Evolution

Die Evolution der Lebewesen hat den Schritt zur bilateralen Symmetrie mit körperseitenüberbrückenden Kreisläufen unter Nutzung der bereits zuvor Protein-gesteuerten Zellteilung bewältigt. Mit dieser Innovation konnte ein sich selbst-organisierendes und gegenseitig angleichendes Wachstum auf zwei Körperseiten entstehen.

Bis zum Auftreten bilateral-symmetrischer Formen konnte die Natur nur primitive Lebensformen und Entwicklungen hervorbringen. Erst zum Beginn des Kambriums lassen sich viele, ab dann vor allem symmetrische Vielzellerarten sicher nachweisen. In diese Zeit vor rund 540 Millionen Jahren fällt die sogenannte kambrische Explosion der Artenvielfalt, in der vor allem die ersten Gliederfüßer entstanden. Die kambrische Explosion erstreckte sich über einen zeitgeschichtlich kurzen Zeitraum von nur etwa 5 Millionen Jahren. Eine frühe, mittlerweile ausgestorbene Gliederfüßer-Klasse ist der Trilobit.

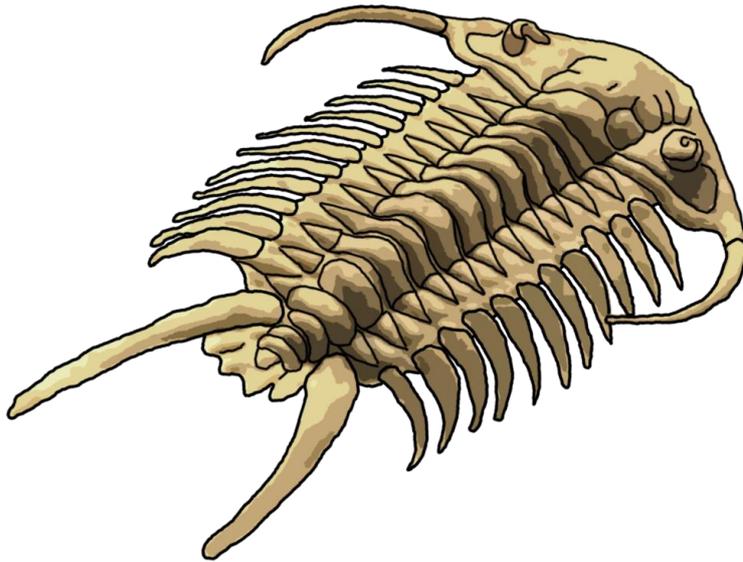


Bild: Skizze einer Trilobiten-Art aus dem Kambrium

Ein Wesen und ein bedeutender Sprung in der Evolution, für den die bilaterale Symmetrie zwar als Begleitmuster, lange Zeit aber nicht als dessen funktionale Ursache erkannt wurde.

Mit Entdeckung und Datierung in der Evolutionsgeschichte konnten auch Genetiker vor rund zehn Jahren einen wissenschaftlich begründeten Faktor bei der Symmetrie-Entwicklung zeigen. „In einer neuen Arbeit bringt der Kölner Genetiker Peter Heger das plötzliche Auftauchen dieser Tierstämme mit der Entstehung des sogenannten CTCF-Gens in Verbindung. Dieses ist u. a. in der Lage, die Wirkung der sogenannten Hox-Gene zu beeinflussen, welche eine wichtige Rolle bei der Ausbildung des Körperbauplans spielen.“ Quelle: Symmetrie-Gen hatte Anteil an der kambrischen Explosion, 13.10.12, <http://derStandard.at>.

Entwicklung der Evolution hin zur Symmetrie

Die ersten Evolutionsschritte des Lebens werden durch die Keimblatt-Entwicklung gekennzeichnet. Zentral dabei ist die Zelldifferenzierung bei der Zweiteilung oder Dreiteilung in sogenannte Keimblätter. Man stelle sich ein Ei oder eine runde Urform als Entstehungsraum vor. Wie eine Membran entsteht innerhalb dieses Raums eine runde Zellfläche, die einen kleinen Teil des Raums abtrennt. Zugleich entsteht eine zweite Zellfläche zunächst gleicher Größe, die auf der ersten aufliegt. So entsteht die Grundlage für zwei Keimblätter. Die ersten Zellflächen heißen Epiblast und Hypoblast.

Die Erweiterung auf drei Keimblätter wird entwicklungsgeschichtlich mit der Entstehung der sogenannten Bilateria verbunden, den bilateral-symmetrisch gebauten Gewebetieren. Bei triploblastischen Gewebetieren entstehen drei Keimblätter, die alle aus Zellen des Epiblasts hervorgehen. Es entstehen Entoderm, Mesoderm und Ektoderm – also unteres, mittleres und oberes Keimblatt.

Das Entoderm bringt bei allen Tieren den Verdauungstrakt und daran angeschlossene Einheiten wie Leber, Schilddrüse und Harnblase hervor. Auch der Atmungstrakt geht später als eine Ausstülpung aus dem Vorderdarm hervor. Das Entoderm wird bei der Entwicklung, der sog. Gastrulation, nach innen gestülpt. Es entsteht ein mit der Außenwelt verbundener, innerer Hohlraum zum Sammeln von Nährstoffen. Das obere Keimblatt bildet den Schutz des Körpers nach außen und später auch das Nervensystem.

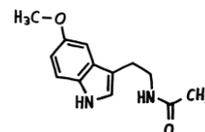
Aus den Zellen des mittleren Keimblatts, dem Mesoderm, gehen Knochen, Muskulatur und Bindegewebe hervor. Diese Einheiten sind es, welche die dreidimensionale Form der Körper bestimmen. Daraus hervorgehende Körperzellen realisieren (1) alle benötigten Stützfunktionen, in höheren Entwicklungsformen geschieht das später mit Knochen und Knorpeln, (2) alle Verbindungsfunktionen mit Muskeln und deren Sehnen, welche diese mit den Knochen verbinden, und (3) Zwischenräume mit Bindegewebe. Damit ist der Grundstein für dreidimensionale Körper mit aufeinander abgestimmten Druck- und Zuglasten gelegt.

Interessant ist, dass erst mit den Tierstämmen der Gliederfüßer, wissenschaftlich: Arthropoda, mit rund 80 Prozent aller heutigen Tiere und auch der Ringelwürmer ein höherentwickeltes, geordnetes Nervensystem entstand. Evolutionär gehen alle höheren Nervensysteme auf ein ursprüngliches sogenanntes Strickleiternnervensystem zurück. Dieses ist wie auch der ganze Körper der Tiere selbst bilateral symmetrisch zur Körperlängsachse. Drittes Keimblatt und Strickleiternnervensystem sind damit zwei Indizien, die eine eng umrissene Weichenstellung der Evolution in Richtung symmetrischer Körperformen kennzeichnen.

Erzeugung einer Trennung in rechts und links

Ein sich selbst-organisierendes und gegenseitig angleichendes Wachstum auf zwei Körperseiten benötigt eine Mitte oder besser gesagt eine Symmetrieebene. Wie setzt sich diese Mitte als solche durch und gibt es etwas, das die Trennung in rechts und links stabilisiert? Einen Beitrag dazu leisten könnte etwas, das selbst nicht Paar-symmetrisch auftritt. So hat etwa die unpaarige Anordnung der Zirbeldrüse schon früh besondere Aufmerksamkeit geweckt und den Begriff eines dritten Auges geprägt. Der Philosoph Rene Descartes (1596 - 1650) sagte: „Es gibt eine kleine Drüse im Gehirn, in der die Seele ihre Funktion spezieller ausübt als in jedem anderen Teil des Körpers“.

Die Zirbeldrüse ist eine kleine kegelförmige Drüse auf der Rückseite des Mittelhirns. Sie produziert das Hormon Melatonin, das in Blut und Gehirn-Rückenmark-Flüssigkeit freigesetzt wird. Damit wird auch der Zentralkanal des Rückenmarks erreicht und damit die Symmetriechse des zentralen Nervensystems. Quelle: www.wikipedia.de



Melatonin hat chemisch einfachen Aufbau:

Wir nehmen an, dass Melatonin auf Protein- und Signal-Mechanismen bei der Zellteilung einwirkt. Die ineinandergreifenden Mechanismen beim Stoffwechsel, der Zellteilung und Zelldifferenzierung sind ein weites Forschungsfeld, da viele Faktoren ineinandergreifen und einzelne Wirkungen selten auf eindeutige Auslöser zurückzuführen sind. Vorstellbar aber ist, dass dieses einfache Hormon ein Millieu erzeugt, welches von den Zellen gemieden wird.

Gehen wir in der Embryonalentwicklung bis an den Anfang der Keimblattentwicklung zurück, so ist vorstellbar, allerdings noch nicht erforscht, dass Melatonin schon sehr früh produziert werden könnte. Dazu würde es passen, dass sich in den frühen Tagen der Keimblatt-Entwicklung ein erstes Anzeichen für die spätere Symmetrieebene des Körpers zeigt. Auf dem Epiblast bildet sich die sogenannte Primitivrinne. An ihr wandern neue Zellen entlang, um dann durch einen Durchlass am Ende in den Raum zwischen den Keimblättern einzuwandern. Die sich danach bildenden segmentierten Somiten liegen sich bereits rechts und links der Körperlängsachse paarig gegenüber. Die Entwicklung der Primitivrinne startet an einem mütterlich beeinflussten Randpunkt des Keimblatts. Vorstellbar wäre, dass an diesem Randpunkt die Produktion von Melatonin beginnt.

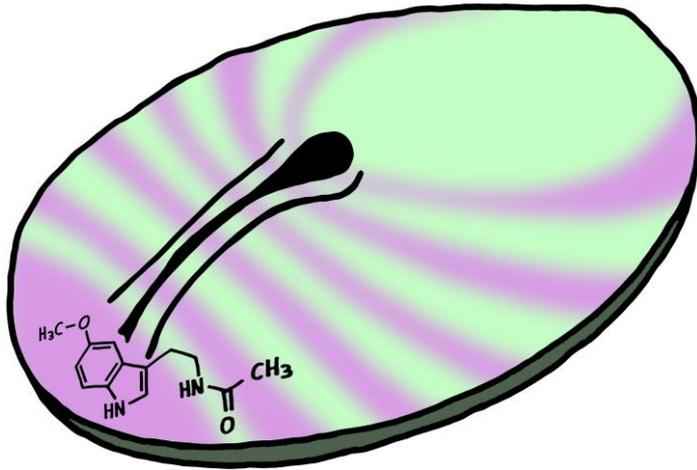


Bild: Keimscheibe mit Primitivrinne zeigt erstmals die Ausrichtung der Körpersymmetrie

Logik des Vorgehens und Symmetrie

Ganz offenbar ist die Suche nach wissenschaftlich begründeten Faktoren der Symmetrie-Entwicklung eine besonders harte Nuss. Enorm viele Einflussfaktoren erschweren ein induktives Vorgehen, mit dem am Ende eine allgemeingültige Erkenntnis zu finden wäre. Dennoch würde ein rein deduktives, mathematisches Vorgehen nicht zum Ziel führen. Die bislang bekannten Faktoren und Begleitwirkungen der Evolution, Genetik und Embryonalentwicklung wurden mit gründlichen empirischen Forschungen erarbeitet, ohne die dieser Artikel nicht möglich gewesen wäre.

Schlüssel zur hier vorgeschlagenen Logik der bilateral-symmetrischen Körperform höherer Lebensformen war die Motivation aus dem Symmetrie-Theorem Emmy Noethers.

Amalie Emmy Noether war eine deutsche Mathematikerin, die grundlegende Beiträge zur abstrakten Algebra und zur theoretischen Physik lieferte. Das nach ihr benannte Noether-Theorem besagt vereinfacht, dass es zu jeder Symmetrie eine Erhaltungsgröße gibt. Quelle: www.wikipedia.de. Damit hat Emmy Noether für die Mathematik, aber auch darüber hinaus für andere Wissenschaften eine fundamentale Motivation in die Welt gesetzt, für die sie große Anerkennung gewann. Mit Noether-Theorem genügt es, eine Symmetrie zu erkennen. Damit ist bereits festgelegt, dass es eine Erhaltungsgröße gibt und dass sich die wissenschaftlichen Mühen lohnen könnten, danach zu forschen. Für bilateral-symmetrisches Leben und seine Evolution schlägt dieser Artikel gewissermaßen als Erhaltungsgröße einen Wachstums-Mechanismus mit Protein-Kreislauf vor.

Bruno Krüger, im Mai 2020