

Michael Dienst

Über die Topologie der Vertebratenhand

Entwicklungsmuster der oberen Wirbeltierextremität in Schemata

Wissenschaftlicher Aufsatz

BEI GRIN MACHT SICH IHR WISSEN BEZAHLT



- Wir veröffentlichen Ihre Hausarbeit, Bachelor- und Masterarbeit
- Ihr eigenes eBook und Buch - weltweit in allen wichtigen Shops
- Verdienen Sie an jedem Verkauf

Jetzt bei www.GRIN.com hochladen
und kostenlos publizieren



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Impressum:

Copyright © 2018 GRIN Verlag
ISBN: 9783668621077

Dieses Buch bei GRIN:

<https://www.grin.com/document/388270>

Michael Dienst

Über die Topologie der Vertebratenhand

Entwicklungsmuster der oberen Wirbeltierextremität in Schemata

GRIN - Your knowledge has value

Der GRIN Verlag publiziert seit 1998 wissenschaftliche Arbeiten von Studenten, Hochschullehrern und anderen Akademikern als eBook und gedrucktes Buch. Die Verlagswebsite www.grin.com ist die ideale Plattform zur Veröffentlichung von Hausarbeiten, Abschlussarbeiten, wissenschaftlichen Aufsätzen, Dissertationen und Fachbüchern.

Besuchen Sie uns im Internet:

<http://www.grin.com/>

<http://www.facebook.com/grincom>

http://www.twitter.com/grin_com

ÜBER DIE TOPOLOGIE DER VERTEBRATENHAND

Entwicklungsmuster der oberen Wirbeltierextremität in Schemata

Berlin im Februar 2018

Abstract. Das Forschungsvorhaben CARPO II behandelt Gelenkkinematiken für belastungsadaptive Strömungskörper nach dem Vorbild der Mittelhandknochen der Wirbeltierhand CARPALS, METACARPALS. Ziel der CARPO-Forschungslinie sind Gestaltungsaufgaben. Vor dem Hintergrund einer populistischen Betrachtung des namensgebenden Biosystems wird eine Gestaltungsfragen zugängliche Systematisierung der Extremitätenentwicklung der Wirbeltiere entworfen.

WIRBELTIEREXTREMITÄT

Eine Geschichte der Entwicklung der Extremitäten von Wirbeltieren kann prinzipiell aus zwei Richtungen erzählt werden. Aus der (vertikalen) Sicht der Evolution, von Generation zu Generation und aus der (horizontalen) Sicht der Organogenese, respektive Embriogenese der der Wirbeltiere, also der Entwicklung von der befruchteten Eizelle bis zum adulten Organismus. Beide Sichtweisen betrachten den gleichen inhaltlichen Zusammenhang und bilden zusammengeführt einen verschachtelten Komplex. Ein phylogenetisches Dilemma. Die Organogenese ist vielleicht für den Techniker und Nichtbiologen die sinnfälligere Herangehensweise, weil hier die molekularen und zellulären „Mechanismen“ der Muster- und Gestaltentstehung den Vordergrund der Argumentation bilden. Gleichwohl ist die biologische Formbildung ein Vorgang, der im technischen Produktionsprozess und in der Welt der artifiziellen Systeme kein Äquivalent findet, so kommt der formale Duktus der Argumentation einer im Vorhaben CARPO II zu entwickelnden Lehre über das Zusammenwirken funktionaler Gestaltungselemente entgegen.

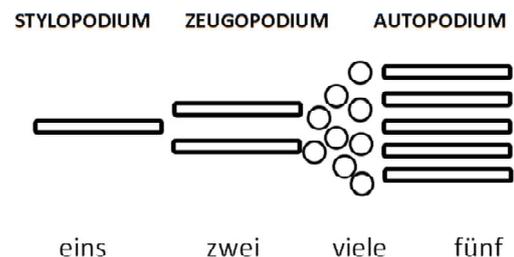


Abb.1
Abstrakte Vertebratenextremität.

Deskriptiv betrachtet erfolgt die embryonale Entwicklung der Extremitäten eines Wirbeltiers im so genannten Extremitätenfeld, einer Region in der linken und rechten Flanke des Embrios. Beobachten wir an dieser Stelle die oberen Extremitäten des Wirbeltiers, so bilden kleine Knospen („Buds“) an den seitlichen Flanken des embryonalen Körpers Knospen. Sie entstehen in einer definierten topographisch- anatomischen Region entlang der Anlagen der Wirbelsäule. Aus den Somiten¹

¹ Somiten [von *soma-], Ursegmente, früher fälschliche Bezeichnung Urwirbel, im frühen Chordaten-Embryo der seitlich an die Chorda-Anlage angrenzende segmental

Über die ontogenetische Entwicklung und die Schematisierung der vorderen Wirbeltierextremität

dort wächst zunächst nicht differenziertes, uniformes mesenchymes Zellgewebe des lateralen Mesoderm aus. In den Extremitätenknospen befinden sich anfangs nur unspezialisierte mesenchymale Zellen, die von einer Schicht embryonaler Haut, dem Ektoderm, bedeckt werden. Während der Somitogenese teilt sich (paraxiales) Mesoderm in Zellblöcke, die Somiten eben. Der Vorgang beginnt hinter der Kopfanlage und schreitet sequentiell nach hinten fort. Jeder Somit enthält zunächst einen kleinen Hohlraum, das Coelom.

Signalmoleküle, die morphogenetische Gradienten darstellen, induzieren in den Somiten Zellpopulationen, die nacheinander aus dem Somiten auswandern und im zugehörigen Körpersegment verschiedene Gewebe differenzieren. Dieser Art stülpt sich das oberhalb liegende Ektoderm zu einer paddelförmigen Extremitätenknospe aus; erste topologische Merkmale der Vertebratenhand werden sichtbar. Es kommt zur Ausbildung der apikalen ektodermalen Randleiste² (AER). Die AER ist eine lange, wulstartige Struktur an der abgeflachten Spitze der Extremitätenknospe. Die embryonale Entwicklung der Extremität erfolgt also (in Richtung) vom Körper weg.

Zunächst kondensieren Zellen in der Knospe. In einer Vielzahl von parallel synchronen sowie seriellen Entwicklungsschritten differenzieren sich die (kondensierten) Zellen der Knospe in Knorpelgewebe (Chondrogenese). Die genetischen und epigenetischen Muster die jetzt entstehen, sind unsere erste Stufe der topologischen Systematisierung (Skizze, Abb.1). Diese Struktur ist Basis und Ursache der sich später bildenden Knochen von Oberarm (Stylopodium), Unterarm (Zeugopodium) und Hand (Autopodium). In der

gegliederte Anteil des Mesoderms. Die Somiten stammen von Zellen ab, die in der Blastula beidseits der Organisator-Region liegen und nach der Gastrulation beidseits der Chorda dorsalis das paraxiale oder präsomitische Mesoderm bilden. Nach <http://www.spektrum.de/lexikon/biologie/somiten/62095>

² AER - Apikale ektodermale Randleiste. Organisatorregion (Signalzentrum) für die Steuerung des proximo-distalen und antero-posterioren Auswuchses der Knospe

Erforschung der embryonalen Entwicklung der Extremitäten der Wirbeltiere stellt die exakte Lokalisierung und die Formfindung der finiten (möchte man sagen) diskreten, skelettären Elemente Stylopodium, Zeugopodium und Autopodium innerhalb der paddelförmigen Extremitätenknospe den eigentlichen Kern. Die frühen Arbeiten Turings³ (1952) in denen Differentialgleichungen Entwicklungsmechanismen beschreiben werden (Turing-Mechanismus) und die klassische Theorie der morphogenetischen Gradienten⁴ (Wolpert, 1969) gelten heute als überholt. Gleichsam war der morphogenetische Gradient Wolperts die Deutungsbasis erster computerbasierter Modelle (Meinhard und Gierer, 1972). Das Modell der globalen Inhibition und lokalen Aktivierung ist heute durchaus Lehrmeinung [Mei01] [Mei82] [Mei84] [Tur52] [Wol99]. Wolpert beschrieb ein dreidimensional angelegtes, auf den Fick'schen Diffusionsgleichungen basierendes Mehrstoff-Gradienten-Modell (French flag model) ein, in dem räumlich verteilte Aktivator-Inhibitor-Kollektive (lokaler kurzreichweitiger Aktivator und lateraler, weitreichender Inhibitor) zu regelmäßigen Mustern führen.

Entscheidend für die von Wolpert, Meinhard und Gierer vorangetriebene Forschung war die Erkenntnis, dass die in Computermodellen darstellbaren Aktivator-Inhibitor-Systeme in einem weiteren Schritt der Abstraktion zur

³Turing hatte sich von 1952 bis zu seinem frühen Tod im Jahre 1954 mit Problemen der Theoretischen Biologie beschäftigt. In der Arbeit zum Thema The Chemical Basis of Morphogenesis wurde dieser heute als Turing-Mechanismus bekannte Prozess erstmals beschrieben.

⁴ Lewis Wolpert, (* 19. Oktober 1929 in Südafrika) ist Entwicklungsbiologe und Autor verschiedener Bücher und Lehrbücher. Positionsinformation, Lageinformation, positional information, in der Entwicklungsbiologie Signal, das eine Zelle über ihre Position im Gesamtsystem informiert. Wolpert hatte 1969 vorgeschlagen, daß jede Zelle einen Positionswert in Abhängigkeit von ihrer genetischen Konstitution und von ihrem jeweiligen Entwicklungszustand „interpretiert“, d.h., ihr Entwicklungsschicksal und das ihrer Tochterzellen durch Änderung ihres Genaktivitätsmusters festgelegt wird. Alle Zellen in einem morphogenetischen Feld gehorchen demselben System von Positionsinformation. Nach:<http://www.spektrum.de/lexikon/biologie/positionsinformation/53238>

Über die ontogenetische Entwicklung und die Schematisierung der vorderen Wirbeltierextremität

Autopoiesis, zur Selbstorganisation taugen, es also konservative Mechanismen der biologischen Muster- und Gestaltentwicklung geben mag, die universell und (weil konservativ) superponierbar sind. Eine entscheidende Eigenschaft passiv-phylogenetischer Szenarien.

Für Naturwissenschaftler ist die Frage nach der biologischen Musterbildung und der embryonalen Form- und Gestaltentstehung nach mehr als 50 Jahren aber immer noch nicht eindeutig geklärt. Man weiß noch nicht, in welcher Form Zellen der Knospe der Vertebratenhand Positionsinformationen erhalten, um an exakt zu bestimmenden Stellen in Knorpelgewebe zu differenzieren. Man kann allerdings zeigen, dass das konzentrationsabhängige Interpretieren einer (Positions-) Information zur Bildung eines sichtbaren, räumlichen Musters führt.

Noch ein paar Begriffe, die die anschließende Diskussion unterstützen mögen: Unterschiedlich differenzierte Zellen werden durch die colineare Expression spezifischer Gene entlang der anteroposterioren Körperachse (der Bilateria der Wirbeltiere) initiiert. Welche Mechanismen diese räumlich geordnete Musterbildung aus der Expression dieser Hox-Gene⁵ steuert, ist bisher nur in Ansätzen geklärt, obwohl die darüber angelegte Forschung breit ist. Im Zusammenhang mit der Entwicklung der Wirbeltierextremität taucht der „Mechanismus“ Sonic hedgehog (SHH) auf. Hedgehog ist ein hoch konservierter Signalweg in der Evolution der Musterbildungen bei Wirbeltieren. Nach Stand der Wissenschaft sollte Sonic hedgehog genau das gesuchte Morphogen sein, das die Musterbildung bei der Extremitätenentwicklung

determiniert; für das Autopodium gilt die Patternbildung durch SHH als bestätigt⁶.

Die in der Biosystemanalyse erarbeiteten Erkenntnisse über Signalwege der Embryogenese der Vertebratenhand sind für den Naturwissenschaftlichen Laien unüberschaubar und viel zu komplex, um daraus Regeln für zukünftige Gestaltungsaufgaben extrahieren zu können. Darüber hinaus liegen die von den Naturwissenschaften gelieferten Informationen in einer von Ingenieuren und Designern kaum verwertbaren Form dar.

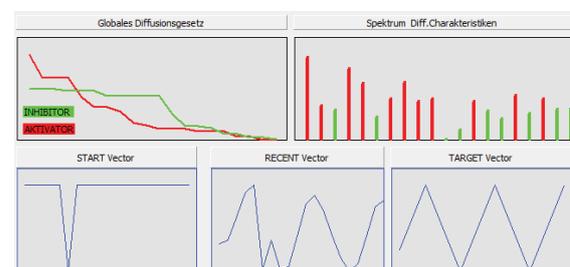


Abb.2 Genesettransformation. Inhibitor und Aktivator als morphogenetische Funktionen und deren Spektren (oben). Starmuster, Verlaufs- und Zielmuster (unten im Bild).

Den Nichtbiologen genügen zunächst Computersimulationsmodelle, die den Phänotypen des Biosystems darstellen. Dieserart ist beispielsweise das Modell nach Meinhard und Gierer, das auf der Basis eines durchaus komplexen Diffusionsansatzes für das räumlich verteilte Zweistoffsystem eine Reihe einfacher ontogenetischer Prozesse simuliert. Wie bereits oben schon kurz angesprochen, sind die im Modell parametrisierten Eigenschaften der Musterentstehung im Zweistoffsystem selbst einer Konditionierung zugänglich. Dem Ingenieur bietet dieser Umstand einen hervorragenden Ansatzpunkt: Das generierte Feld im Meinhard'schen Modell steuert die Ausprägung bestimmter Vormuster (im

⁵ Hox-Gene sind eine Familie von regulativen Genen. Ihre Genprodukte sind Transkriptionsfaktoren, welche die Aktivität anderer, funktionell zusammenhängender Gene im Verlauf der Individualentwicklung (Morphogenese) steuern. Sie gehören also zu den homöotischen Genen. Der charakteristische Bestandteil eines Hox-Gens ist die Homöobox. Dabei handelt es sich um eine charakteristische Sequenz homöotischer Gene. Die Homöoboxen codieren in den Zellen für abgrenzbare besondere Proteinbereiche oder Proteindomänen (Homöodomänen). Diese bestehen in der Regel aus 60 Aminosäuren und besitzen eine DNA-Bindedomäne.

⁶ Sonic hedgehog war auch eines der ersten Gene, für das ein bei Säugern und Fischen gleichermaßen hoch konserviertes, nicht codierendes cis-Regulatorelement (ZRS) gefunden wurde, das die SHH-Expression im Detail steuert.

Über die ontogenetische Entwicklung und die Schematisierung der vorderen Wirbeltierextremität

Feld). Das Vormuster seinerseits löst Gestaltbildungsvorgänge aus. Setzt man nun an dieser Stelle eine Evolutionsstrategie zur lokalen Suche der Parameter der Diffusion an, schließt sich der Kreis und das Modell eines Ontogenese- Evolutions- Szenario entsteht.

Die Integration molekularer Modelle der epigenetischen zellularen Musterbildung⁷ in numerische Vormuster des Ontogenese-Modells und die artifizielle Evolution der regulierenden Feldparameter lösen das phylogenetische Dilemma auf. Zumindest im Rahmen einer Simulation der Musterverarbeitung nach dem Vorbild der biologischen Signaltransduktion [Die09-1] ff.

Im Zentrum der Bemühungen um synthetische Muster in Computermodellen standen Gestaltungsaufgaben. Die GENESE-Transformation (2006) arbeitete mit einem Feld aus so genannten „zellulären Automaten“ und stellte formal eine Rücktransformation (aus dem Bildbereich) in den Funktionenbereich eines Feldes dar. Es war aus der Sicht der damaligen Gestaltungsaufgaben notwendig, das über Vormuster getragene initiieren (beliebiger) Muster in Computermodellen beobachten zu können. Im oben gezeigten Beispiel wird aus einer Inhomogenität im Feld (Startmuster: Dirac) über die iterative Konditionierung der Aktivatoren und Inhibitoren ein periodisches Zielmuster (Sägezahn) generiert. Die Prinzipien der artifiziellen Musterbildung und ihrer Evolution wurden am eindimensionalen Muster (Signal) entwickelt. Computermodelle können SHH und HOX-Aktivitäten berücksichtigen. Evolutionäre Übergänge und eine Konditionierung der Steuerparameter können erzeugt werden. Die Musterergebnisse dieser Modelle entstehen nicht auf der unteren, genetischen Organisationsebene. Dennoch ist eine gesunde Vorsicht geboten. Die Computermodelle der Nichtbiologen dienen selten der Biosystemanalyse. Anders als der Naturwissenschaftler will der Ingenieur oder Designer zwar die Vorgänge des biologischen

Systems verstehen, letztendlich zielt aber der Simulationsansatz auf die Lösung einer Gestaltungsaufgabe und führt auf Algorithmen, die (in mehr oder weniger bunten Bildern) ein abstraktes Modell des biologischen Phänomens beschreiben sollen, aber deren Motiv nicht in der wissenschaftlichen Erkenntnis, sondern in Poiesis, der Gestaltungsabsicht einer schöpferischen Tätigkeit, steckt. Naturwissenschaft und Technik haben gelegentlich ähnliche Herangehensweisen, aber oftmals unterschiedliche Motive.

Schemata der Entwicklungsmuster der oberen Wirbeltierextremität

In der wissenschaftlichen Bionik werden Phänomene der belebten Natur auf Technik übertragen. Hierzu sind Erkenntnisse über biologische Gestaltungsprinzipien in eine für die Entwicklung artifizieller Muster und Gestalt in eine für den Techniker verwertbare Form zu überführen. Fassen wir nun also die Kernaussagen der (phänotypischen) Extremitätenentwicklung bei Wirbeltieren am Beispiel der vorderen Gliedmaßen des Menschen zusammen: Die Extremität wird proximal nach distal in drei Regionen gegliedert: Oberarm (engl. Stylopod, lat. humerus), Unterarm (engl. Zeugopod, lat. antebrachium) sowie Hand/Fuß, Autopod (lat. autopodium). Der Oberarm ist der Stylopod, Elle (Ulna) und Speiche (Radius) der Zeugopod. Die Hand (Carpals und Metacarpals) mit Fingern (digits) sind der Autopod und damit die eigentliche Wirbeltierinnovation in der Extremität. Die Organisatorregion für proximo-distale Ausbildung der Extremitätenknospe ist die Apikale Ektoderm Randleiste, AER. Sie ist das Signalfeldzentrum der Extremitätenentwicklung.

Die Zone polarisierender Aktivität, ZPA ist die Organisatorregion am posterioren Ende der Extremität; sie ist verantwortlich für die antero-posteriore Achsenbildung und determiniert Anzahl und Identität von Fingern. Das Morphogen ist ein diffusibles Molekül, das eine Organisatorregion determiniert, z.B. Retinsäure (RA) oder Sonic hedgehog (SHH).

⁷ Siehe auch: Genesetransformation. Adaption der Transformationscharakteristiken. In Forschungsberichte 2007 der TFH Berlin, S. 166-171. Publikationen der Technischen Fachhochschule Berlin. ISBN 978-3-938576-07-3

Über die ontogenetische Entwicklung und die Schematisierung der vorderen Wirbeltierextremität

Morphogene bilden Konzentrationsgradienten aus und erwirken direkt oder indirekt eindeutige Zellantworten bei unterschiedlichen Konzentrationen.

Die Zelle kann die unterschiedlich starken bzw. zeitdauerunterschiedlichen chemischen Signale des Gradienten interpretieren und spezifisch darauf reagieren und unterschiedliche Gewebe ausdifferenzieren, wie etwa in Knochen-, Knorpel-, Muskel- oder Bindegewebe. Die Entwicklung der (oberen) Wirbeltierextremität erfolgt entlang der proximo-distalen, der antero-posterioren sowie der dorso-ventralen Achse. Die Gestaltbildungsprozesse entlang dieser drei Achsen sind miteinander gekoppelt und in komplexer Weise verschränkt. Man unterscheidet die AER (apical ectodermal ridge), die das proximo-distale Wachstum kontrolliert, die ZPA (Zone polarisierender Aktivität) für die antero-posteriore Achse sowie das Ektoderm der Knospe, das die dorso-ventrale Achse steuert. Die proximo-distale Achse reicht von der der Schulter zur Fingerspitze, die anterior-posteriore Achse vom fünften Finger zum Daumen und die dorso-ventrale Achse von der Handinnenseite zur Handaußenseite.

Gesucht wird nun ein semantisches Konstrukt, das im Sinne der Bionik, das die Ergebnisse der Prälokation und Differenzierung der sich entwickelnden Vertebratenhand schematisiert derart, dass es für die Beschreibung artifizierlicher Konstruktionen taugt. Für das Arbeiten an und das Entwickeln von technischen Konstruktionen ist eine Beschreibung der (gegebenenfalls dynamischen) Vorgänge in generalisierten Koordinaten vorteilhaft. Eine Gelenkplatte beispielsweise, sei an ihrer Basis fest eingespannt. Drei Gelenke besitzen einen gemeinsamen Punkt im unteren Drittel der Platte. Ein Gelenk endet in der Struktur, die beiden anderen Gelenke enden an der Konturgrenzen der Platte. Die dünne Platte sei in (n,n) beliebig (aber endlich) viele finite Elemente diskretisiert. Nennen wir dieses abstrakte Gebilde eine „kinematische Box“. Die Struktur (die kinematische Box) ist nun einer technischen Analyse zugänglich. Es

können Belastungskräfte wirken, beispielsweise als Druck dem System aufgeprägt werden und die Systemantwort, das elastische Verhalten der Platte für unterschiedliche Gelenkplattentopologien studiert werden.

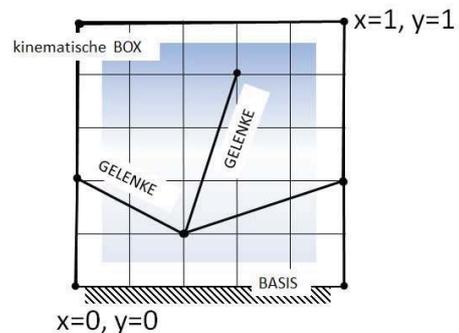


Abb. 3.

Kinematische BOX in generalisierten Koordinaten.

Dies für eine quadratische Platte zu tun, wäre aber vergleichsweise langweilig. Durch die Generalisierung der Koordinaten der Platte zwischen $[0 < (x,y) < 1]$ bekommt man nun aber die Möglichkeit, mit geeigneten mathematischen Methoden das „Gelenkmuster“ einer kinematischen Box auf nahezu beliebige Konturen zu transformieren und sie dann einer Verformungsanalyse zuzuführen. Beschränken wir uns zunächst auf flächenhafte Gelenkstrukturen und homologe, die Topologie der Anordnung erhaltende, Transformationen.

Zu den Grundanforderungen an eine Transformationsmethode gehört, Objekte in der Ebene zu verschieben, linear zu skalieren und zu rotieren. Solche konturerhaltenden Transformationen begegnen uns im Alltag laufend und überall. Bei der Auswahl einer Koordinatentransformation erweist es sich aber als unangenehm, wenn eine Liste aus Verschiebungen für jeden Punkt keinerlei Information über das Objekt enthält, welche diese Konturpunkte repräsentieren. Es wäre eine große Aufgabe, einem Transformationsobjekt neben den Koordinaten der äußeren Kontur, auch die „Bedeutung“ und das „Design“ der inneren Struktur, also des Milieus des Transformationsgebiets, einbe-

Über die ontogenetische Entwicklung und die Schematisierung der vorderen Wirbeltierextremität

schreiben zu wollen. Aber genau dies müssen wir von der Transformationsmethode fordern. Mit dem Übergang zu charakterisierenden Formen des inneren Milieus eines (strukturierten) Transformationsobjekts unter Verwendung der Konturkoordinaten, liegt der Gedanke eines schrittweisen, iterativen Vorgehens nahe. Position, Skalierung und Rotation verlieren auf lokaler Ebene dann an Schrecken, wenn diese Operationen Teil eines Transformationsgeschehens ist, das zwar genügend komplex und hochdimensional im Sinne der Anzahl der vertikalen und horizontalen Koordinaten in der zweidimensionalen Ebene ist, dafür aber in sehr kleinen kausal ausbalancierten Schritten abläuft und dieserart eine Formähnlichkeit (schrittweise) aufrecht erhält.

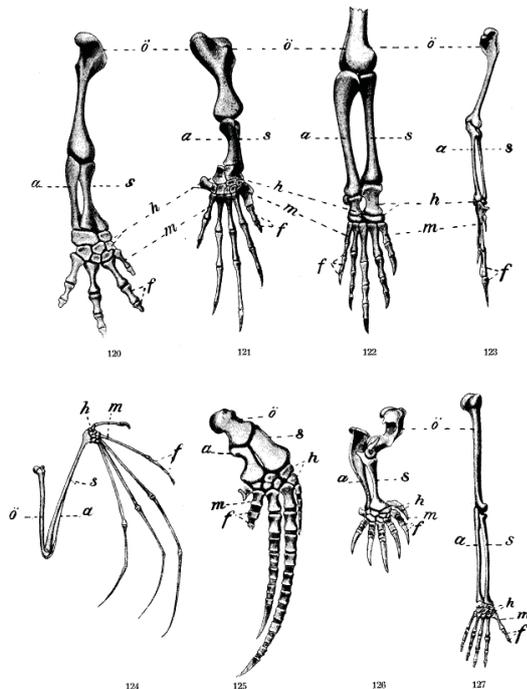


Abb. 4
Armskelett verschiedener Tierarten. o. von li.: Salamander, Schildkröte, Krokodil, Vogel; u. von li.: Fledermaus, Wal, Maulwurf, Mensch⁸

⁸ Wilhelm Leche (1909) Comparative study of the skeleton of the arm. Original caption: Främre lemmens skelett fig. 120 af salamander, fig. 121 af hafssköldpadda, fig. 122. af krokodil, fig. 123 af fågel, fig. 124 af flädermus, fig. 125 af hval, fig. 126 af mullvad, fig. 127 af människa, ö öfverarmben, s strålben, a armbågsben, h handrotsben, m mellanhandsben, f fingerben.

Betrachten wir nun noch einmal die abstrakte Vertebratenextremität in Abbildung 1.

In distaler Richtung kommt es zunächst zu einer Verdoppelung der Knochenanlage, dann zu einer Vervielfachung. Eine vereinfachende Regel zur Beschreibung der vorderen Extremitätenentwicklung könnte etwa so lauten:
EINS, ZWEI, VIELE.

Eins (HUMERUS) der Stylopod, zwei (ULNA und RADIUS) der Zeugopod, viele (CARPALS, METACARPALS und DIGITS) der Autopod.

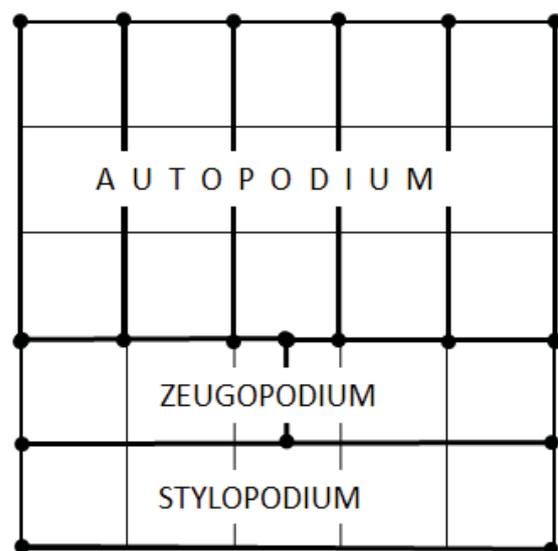


Abb. 5
Schema der rudimentären Vertebratenhand.

Bei rezenten Wesen hat der Autopod drei (Hühnchen-Flügel) bis fünf Elemente (Maus) entlang der antero-posterioren Achse. Finger und Zehen zeigen quasi-periodische Muster in Form der rapportiert angelegten Glieder entlang der proximo-distalen Achse. Es gibt keine rezente Wirbeltierart, die im Standard mehr als fünf Finger oder Zehen an einer Extremität hat. Die Extremitäten früher Saurierarten werden jedoch in manchen Fällen als Vielzähig, polydaktyl, interpretiert.

Deutsch: 120 Salamander, 121 Schildkröte, 122 Krokodil, 123 Vogel, 124 Fledermaus, 125 Wal, 126 Maulwurf, 127 Mensch. <http://runeberg.org/lecheman/0102.html>.
From Wikimedia Commons, the free media repository.

Über die ontogenetische Entwicklung und die Schematisierung der vorderen Wirbeltierextremität

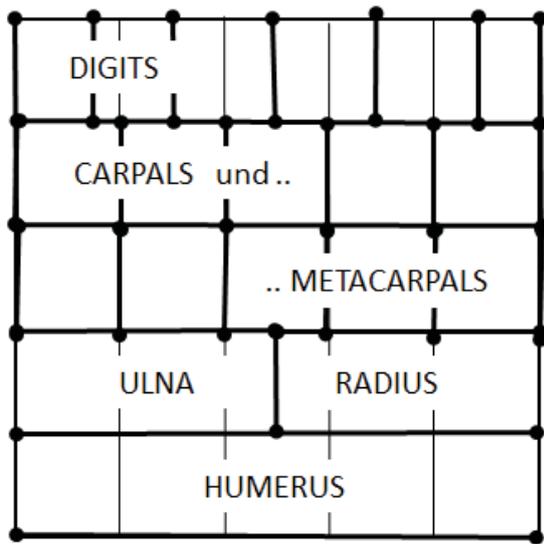


Abb.6
Schema der polydaktylen Vertebratenhand.

Ganz offenbar existieren genetisch determinierte „Entwicklungs-Constraints“, welche eine größere Fingerzahl unterbinden und die Stabilität der Fünfzähligkeit wahren. Phylogenetische Analysen früher Arten legen den Schluß nahe, dass Vögel als lebende theropode Dinosaurier anzusehen sind⁹.



Abb.7: Präparat eines Saurierfußes (Kentrosaurus). Naturkundemuseum Berlin, Mi. Dienst 2013.

Funde mit reduzierten Anlagen des vierten und fünften Fingers belegen, dass die

⁹ ALEXANDER O. VARGAS and JOHN F. FALLON (2005) The Digits of the Wing of Birds Are 1, 2, and 3. A Review. In: JOURNAL OF EXPERIMENTAL ZOOLOGY (MOL DEV EVOL) 304B (2005)

fünffingrigen Vorfahren der Theropoden den vierten und fünften Strahl verloren haben. Aus der Sicht der vergleichenden Paläontologie werden deshalb die drei Strahlen des Vogelflügels als homolog zu den ersten drei Fingerstrahlen theropoder Dinosaurier bewertet.

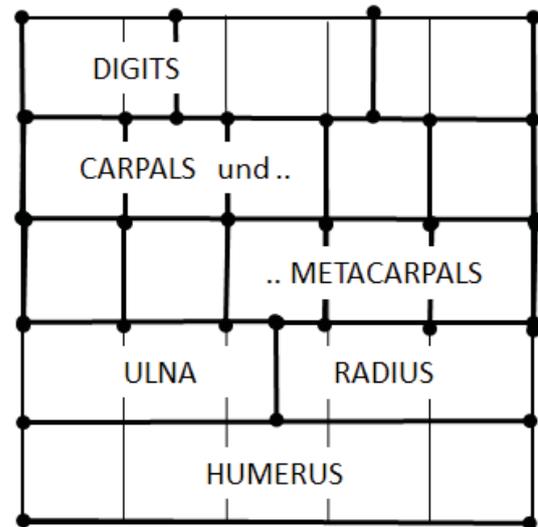


Abb. 8
Schema der undifferenzierten (CARPALS) Vorderextremität eines Universal-Vogels.

Abschluss

Für das Vorhaben CARPO kommt der Erforschung der ontogenetischen Entwicklung von Gliedmaßen bei Wirbeltieren und ihrer Systematisierung eine fundamentale Bedeutung zu. Die spezifisch-komplexe und gleichzeitig modulare Anatomie von Flossen, Armen, Händen, Beinen, Füßen oder Flügeln stellt ein hervorragendes Modell der Übertragung biologischer Phänomene in artifizielle Systeme (Bionik) dar. Wenn es den Naturwissenschaftlern gelingt, fundamentale entwicklungsbiologische Fragen, wie beispielsweise die molekularbiologischen Grundlagen der Festlegung und der Realisierung des Bauplans der Wirbeltierextremität während der Embryonalentwicklung zu klären, sollte es – auf der Basis einer methodischen Konstruktionsentwicklung – möglich sein, das kinematische Geheimnis der Belastungsadaption zu ent-

Über die ontogenetische Entwicklung und die Schematisierung der vorderen Wirbeltierextremität

schlüsseln und auf Technik, beispielsweise Strömungsbauteile, zu übertragen.

Für unsere späteren Überlegungen ist in erster Linie die Region der Mittelhand (CARPALS, METACARPALS und DIGITS) der Autopod von Interesse. Obwohl das Extremitätenskelett eines Wirbeltieres durch eine definierte Zahl von Knochen mit einer jeweils charakteristischen Größe und Form in einer festen räumlichen Anordnung gekennzeichnet ist und gleichermaßen die vergleichende Anatomie

der Vertebratenhand seit Jahrhunderten auf der Agenda der Heilenden und der Forschenden steht, erscheint einem Nichtbiologen der Autopod in Form und Funktion als überwältigend komplex. Standardisierte, generalisierte Beschreibungen können uns helfen, die biologische Gestalt zu verstehen. Die Mittelhandknochen der Wirbeltierhand CARPALS sind namensgebend für das Forschungsvorhaben CARPO.

Berlin im Januar 2018

Bibliographie und weiterführende Literatur

- [Con96] Conway, J. H., Guy, R. K., (1996) The Book of Numbers. New York: Springer-Verlag, pp. 283-284,
- [Cal02] Calistrate, D.; Paulhus, M; Wolfe, D. (2002) On the Lattice Structure of Finite Games. In: More Games of No Chance. Cambridge: Cambridge University Press: 25-30.
- [Die 16-9] Dienst, Mi. (2016) THE ORIGIN OF BIOLOGICAL COMPLEX GEAR, Design Intent regarding Surfboard fins with "Intelligent Mechanics, i-mech". GRIN-Verlag GmbH München, ISBN(e-Book): 9783668264779, ISBN(Buch): 9783668264786
- [Die09-8] Dienst, Mi.(2009) Synthetische Muster für lokale Suchalgorithmen. GRIN-Verlag GmbH München. ISBN (E-Book): 978-3-640-49616-7, ISBN: 978-3-640-49633-4
- [Die09-7] Dienst, Mi.(2009) Algorithmen zur Musterverarbeitung in Optimierungsstrategien nach dem Vorbild der biologischen Signaltransduktion. GRIN-Verlag GmbH München. ISBN (E-Book): 978-3-640-49615-0, ISBN: 978-3-640-49632-7
- [Die09-3] Dienst, Mi.(2009) Artificielle Evolution Heute. Optimieren nach dem Vorbild der Natur. GRIN-Verlag GmbH München. ISBN: 978-3-640-39858-4. ISBN (E-Book): 978-3-640-39834-8
- [Die09-1] Dienst, M., (2008) Musterverarbeitung in Optimierungsstrategien nach dem Vorbild der biologischen Signaltransduktion. In Forschungsbericht 2008/2009 der BHT Berlin, S. 160-163. Publikationen der Beuth Hochschule für Technik Berlin. ISBN 978-3-938576-20-5.
- [Die07] Dienst, M., (2007) Genesetransformation. Adaption der Transformationscharakteristiken. In Forschungsberichte 2007 der TFH Berlin, S. 166-171. Publikationen der Technischen Fachhochschule Berlin. ISBN 978-3-938576-07-3
- [Die06] Dienst, M., (2006) Eine Optimierungsumgebung für Genesetransformationen. In Forschungsberichte 2006 der TFH Berlin, S. 115-117. Publikationen der Technischen Fachhochschule Berlin. ISBN 3-938576-07-3
- [Die05] Dienst, M., (2005) Genesetransformation. Ein Algorithmus zur Synthese von Signalen nach dem Vorbild der biologischen Musterbildung. In Forschungsberichte 2005 der TFH Berlin, S. 190 – 193. Publikationen der Technischen Fachhochschule Berlin.
- [Eig71] Eigen, M., (1971) Selbstorganisation und Evolution. In: Naturwissenschaften Bd. 58(10), S. 465 - 523, 1971
- [Ger95] Gerhardt, M., Schuster, H. (1995): Das digitale Universum. Zelluläre Automaten als Modelle der Natur. Vieweg, Braunschweig.

Über die ontogenetische Entwicklung und die Schematisierung der vorderen Wirbeltierextremität

- [Gie72] Gierer, A., und Meinhard, H., (1972) A Theorie of biological Pattern Formation. *Kybernetic* 12, 30-39.
- [Her00] Herdy, Michael, (2000) Beiträge zur Theorie und Anwendung der Evolutionsstrategie. Mensch und Buch Verlag, Berlin.
- [Her05] Herdy, Michael, (2005) Anwendung der Evolutionsstrategie in der Industrie. In *Evolution zwischen Chaos und Ordnung*. S. 123 – 138. Freie Akademie Verlag, Bernau.
- [Kah91] Kahlert, J. (1991) Vektorielle Optimierung mit Evolutionsstrategien und Anwendungen in der Regelungstechnik. VDI Verlag, Reihe 8 Nr. 234.
- [Kos03] Kost, Bernd, (2003) Optimierung mit Evolutionsstrategien. Harri Deutsch Verlag, Frankfurt a. M.
- [Lov88] Lovelock, J., (1988) *The ages of Gaya*. W.W. Norton, New York
- [McC65] McCulloch, W., (1965) *Embodiment of minds*. Cambridge: Cambridge University Press: 25-30.
- [Mef04] Meffert, B., Hochmut, O. (2004) *Werkzeuge der Signalverarbeitung*. Pearson-Studium, München.
- [Mei01] Meinhard, H., (2001) Auf- und Abbau von Mustern in der Biologie. In *Biologie in unserer Zeit*, (31), 01.
- [Mei82] Meinhard, H., (1982) *Models of biological pattern formation*. Academic Press, London.
- [Mei84] Meinhard, H., (1984) Models for positional signalling. *J. Embriol. Exp. Morph.* 83:289-311.
- [Mon71] Monod, Jacques, (1971) *Zufall und Notwendigkeit*. Piper Verlag, München
- [Mor03] Mortimer, Ch., Müller, U. (2003) *Das basiswissen der Chemie*, Thieme Verlag Stuttgart.
- [Nie83] Niemann, H., (1983) *Klassifikation von Mustern*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [Nie90] Niemann, H., (1990) *Pattern Analysis and Understanding*, Springer Series in Information Sciences 4. Berlin.
- [Pru94] Prusinkiewicz, P., (1994) Visual models of morphogenesis. *Artificial Life*, 1(1/2):67-74.
- [Rec94] Rechenberg, Ingo, (1994) *Evolutionsstrategie*. Frommann Holzboog Verlag Stuttgart-Bad Cannstatt.
- [Rie75] Riedl, R., (1975) *Die Ordnung des Lebendigen. Systembedingungen der Evolution*. Parey Buchverlag Berlin.
- [Sche85] Scheel, Armin (1985) *Beitrag zur Theorie der Evolutionsstrategie*. Dissertation, TU Berlin.
- [Schw95] Schwefel, H. – P. (1995) *Evolution and Optimum Seeking*. John Wiley & Sons. New York.
- [Tur52] Turing, A., (1952) The chemical basis of morphogenesis. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 237:37-72.
- [Wol99] Wolpert, L., (1999) *Entwicklungsbiologie*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg

Kontakt:

Die **BIONIC RESEARCH UNIT** ist eine forschungsbezogene Fachgruppe für Lehrende und Studierende an der Beuth Hochschule für Technik Berlin und Partner für industrielle Dienstleistungen auf dem Wissensgebiet der Bionik.

Beuth Hochschule für Technik Berlin,

BIONIC RESEARCH UNIT / FB VIII, Maschinenbau
Luxemburger Str. 10, D - 13353 Berlin-Wedding

BEI GRIN MACHT SICH IHR WISSEN BEZAHLT



- Wir veröffentlichen Ihre Hausarbeit, Bachelor- und Masterarbeit
- Ihr eigenes eBook und Buch - weltweit in allen wichtigen Shops
- Verdienen Sie an jedem Verkauf

Jetzt bei www.GRIN.com hochladen
und kostenlos publizieren

