

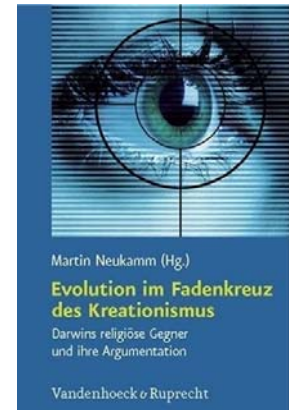
Evolutionäre Entwicklungsbiologie (Evo-Devo): Die grundlegenden Irrtümer der Studiengemeinschaft *Wort und Wissen*

Hansjörg HEMMINGER, Andreas BEYER & Martin NEUKAMM

Im Buch "Evolution im Fadenkreuz des Kreationismus" (Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, 2009. ISBN 978-3-525-56941-2) befasst sich ein Kapitel mit dem Thema "Evolutionäre Entwicklungsbiologie" (kurz: Evo-Devo) – eine neuere Disziplin, die Prozesse in der Embryonalentwicklung sowie den Einfluss der daran beteiligten Gene untersucht, um zu verstehen, wie neue Merkmale in der Evolution entstehen. Wie nicht anders zu erwarten, hat die evangelikale Vereinigung *Wort und Wissen* (W+W) darauf reagiert und es kritisiert (► JUNKER 2010a; s. auch JUNKER 2010b). Dabei wiederholt der Autor REINHARD JUNKER die von W+W bekannten methodischen und inhaltlichen Fehler, auf die an anderer Stelle hinreichend eingegangen wurde. Er treibt den Kritikstil weiter, den er als Geschäftsführer von W+W wesentlich geprägt hat: ein Nörgeln am Detail biologischer Theorien (nach dem Rezept in **Abb. 1**), das sich *irgendwie* (ohne dass dies klar gesagt würde) zu einem Zweifel an dem von ihm kritisierten Modell verdichtet, und die Weigerung, eigene Erklärungen für die behandelten Phänomene offen zu legen. An welche Alternative gedacht wird, liegt auf der Hand: Als Gegenvorschlag zur Naturwissenschaft bietet die Studiengemeinschaft ein Sammelsurium von inkonsistenten Aussagen, die naturwissenschaftlich nichts gemeinsam haben als ihre Verweigerungshaltung, und ihre außerwissen-

schaftliche Motivation im Bibel-Fundamentalismus. Sie bewegen sich je nach Autor und Thema zwischen "intelligentem Design" und Kurzzeit-Kreationismus.

Das Spektrum reicht von RICHARD WISKIN, der davon überzeugt ist, dass der Mensch mit Dinosauriern zusammen lebte, und der dies in seinen Vorträgen mit Plastikmodellen illustriert, von REINHARD JUNKERS Versuch vorzurechnen, dass alle Landtiere in der Arche Noah Platz hatten, bis zu SIEGFRIED SCHERER, der sich mittlerweile vom Kurzzeit-Kreationismus distanziert und sogar "Intelligent Design" gegenüber Kritik äußert. Man muss all diese kreationistischen und semi-kreationistischen Welt- und Naturerklärungen anderswo nachlesen. Sobald man sie den wissenschaftlichen Erklärungen direkt gegenüber stellt, wird ihre Fragwürdigkeit deutlich. W+W betreibt einen "Bauchladen", aus dem sich alle bedienen können, die ein Problem mit der Evolutionstheorie haben – intellektuell anspruchslose Fundamentalisten ebenso wie theologisch differenziert Denkende, denen es um den teleologischen Gottesbeweis geht. Wenn JUNKER in dieser Diskussion höchste logische Konsistenz und empirische Absiche-



rung von der Biologie verlangt, muss man den Hintergrund mit bedenken: Er baut Hürden auf, die W+W selbst nicht einmal in Sichtweite hat, geschweige denn nehmen könnte. Diese Doppelbödigkeit ist ärgerlich, und man könnte sich mit dem biblischen Hinweis begnügen, dass W+W erst den Balken im eigenen Auge entfernen möge, bevor es sich um die Splitterchen im Auge der Wissenschaft kümmert. Andererseits bietet diese Art Kritik immerhin eine Chance, grundsätzliche Fragen aufzugreifen und – soweit möglich – zu klären. Dies soll im Folgenden am Beispiel von Evo-Devo geschehen.

Der Wesen von *Erklärungen* – und wie es W+W auf den Kopf stellt

W+W schreibt in der Zusammenfassung (Hervorhebungen von uns):

Die Autoren listen nur notwendige Bedingungen und **bloße Beschreibungen** möglicher evolutionärer Änderungen der Ontogenese auf, die per se **keine Erklärungen** von (hypothetischen) Evolutionsprozessen beinhalten. Sie versäumen es, auf die fehlenden empirischen und experimentellen Belege für die behaupteten evolutiven Prozesse hinzuweisen.

Diese Kritik ist mehr als erstaunlich: Das Kapitel erläutert in Wirklichkeit die Mechanismen von Evo-Devo ausführlich und enthält Beispiele der Entwicklung anatomischer Strukturen (Fledermausflügel, Schildkrötenpanzer, Entwicklungsrepertoire des Schlammspringers,...) ebenso wie Beispiele heutiger Mutanten-Formen, also Belege, an denen sich die Mechanismen von Evo-Devo *konkret* veranschaulichen

lassen (z.B. homöotische Mutationen). Nun sind Kreationisten Fundamental-Skeptiker, die aus ganz prinzipiellen Gründen Evolution bezweifeln. Dass man sie weder mit Argumenten noch mit Fakten überzeugen kann (evolutionäre Belege werden *aus Prinzip* schöpfungstheoretisch umgedeutet), liegt auf der Hand.

Interessant an dieser Kritik ist ein metatheoretischer Punkt: JUNKER weiß offenbar nicht, was man in den Naturwissenschaften unter einer *Erklärung* versteht und wie man sie von "rein beschreibendem Wissen" unterscheidet. Denn was sind Erklärungen anderes als der Verweis auf Kausalzusammenhänge, wonach ein bestimmter, empirisch feststellbarer Sachverhalt (z.B. die Bildung von Flughäuten und Verlängerung der Phalangen bei Fledermäusen) auf konkrete Mechanismen (z.B. Veränderungen bei der Synthese morphogenetisch wirksamer Proteine, etwa BMPs, s.u.) zurückgeführt wird?

Nach WOODWARD verfügen wir mindestens über den Anfang einer Erklärung,

... wenn wir Faktoren oder Bedingungen identifiziert haben, deren Manipulation oder Veränderung auch Änderungen in dem Resultat bewirken, das erklärt wird. Beschreibendes Wissen ist dem gegenüber Wissen, das keine Information liefert, die potentiell Manipulationen ermöglicht, obwohl es eine Basis für Vorhersagen, Klassifizierungen oder mehr oder weniger einheitliche Repräsentationen und Systematisierungen liefern mag. ... Was man für Manipulationen benötigt ist Information über invariante Beziehungen, und man kann invariante Beziehungen sogar in Fällen finden, in denen man kein Gesetz kennt, in denen man keine räumlich und zeitlich kontinuierlichen Pro-

zesse verfolgen kann, und wo man (die Beschreibung von Phänomenen, die Autoren) nicht vereinheitlichen oder systematisieren kann.¹

Danach sind die Modelle für Evolutionsprozesse, die von Evo-Devo geliefert werden, kausale Erklärungen von hohem Rang, und ganz sicher nicht mehr (wie JUNKER behauptet) nur "bloße Beschreibungen". Sie haben die besondere Form der Rekonstruktion eines mehrstufigen Prozesses, das heißt, sie bestehen aus Einzelschritten, die zeitlich nacheinander wirken und jeweils durch **empirisch nachgewiesene Mechanismen** erklärbar sind. Dass der Gesamtprozess *exakt so* ablief, wie das Modell es sagt, lässt sich zwar kaum je sicher feststellen, weil er in der Vergangenheit liegt und einmalig war. Aber das verringert den **Erklärungswert** nicht (s. WOODWARD), denn alle Einzelschritte sind empirisch auf die von ihm geforderten in-

varianten Beziehungen (= allgemeine Gesetzmäßigkeiten, empirisch oder gar experimentell nachvollziehbare Ursachen etc.) hin untersuchbar. Außerdem gibt es zahlreiche solche, jeweils ebenso einmalige Prozesse, die sich aus immer wieder ähnlichen Einzelschritten zusammensetzen. Die "Regeln" evolutionärer Entwicklungen sind also keineswegs einmalig und lassen sich mit den Methoden der Naturwissenschaft erfassen. Deshalb ist JUNKERS Einwand, es handele sich bei diesen Rekonstruktionen nur um "notwendige, aber nicht hinreichende Bedingungen" für eine Erklärung, ein erkenntnistheoretischer Irrtum. Worauf er eigentlich abhebt, ist, dass die Erklärungen **unvollständig** sind. Nun hätte er sich darüber informieren können (auch bei WOODWARD, s.o.), dass theoretische, kausale Erklärungen **stets** unvollständig sind, das heißt, man kann auf einer tieferen Ebene immer weiter fragen und neue, noch speziellere Details erklärt bekommen wollen.

¹ James WOODWARD: *Making Things Happen*, Oxford University Press, Oxford 2003, 10; Übersetzung von den Autoren. Für eine kürzere Zusammenfassung siehe ► WOODWARD: Causation and Manipulability (Stand: März 2010, 2001, revision 2008). Dieses (im Originaltext nicht unbedingt leicht verständliche) Zitat hebt auf Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge, also auf Kausalität ab: Oft beginnt Wissenschaft deskriptiv, also mit Beschreibungen. Im nächsten Schritt mag man regelmäßige Ursache-Wirkungs-Beziehungen entdecken, freilich (noch) ohne sie wesensmäßig / theoretisch zu verstehen. Hierzu mag Wissen über einzelne Kausalelemente kommen, was ein Gesamtverständnis näher bringt. Ein vollständiges Kausalverständnis würde bedeuten, *alle* relevanten Gesetze zu kennen, *alle* wirksamen Bestandteile und *alle* Randbedingungen beschrieben und im *gesamten* (ggf. historischen) Kontext verstanden sind. So weit wird man faktisch nie kommen, wichtig ist aber: Es gibt zwischen denen von JUNKER gesehenen extremen Polen "rein beschreibend" und "kausalanalytisch erklärt" ein weites, verbindendes Feld.

Ontogenie und Phylogenie: Ein Vergleich

Ein Beispiel liefert die Entwicklungsbiologie: Man kann mit Fug und Recht behaupten, die Prinzipien einer Regulationsentwicklung seien verstanden – im *Groben* und im *Allgemeinen*. Wird die Frage gestellt, durch welche Mechanismen sich aus einer befruchteten Eizelle ein adulter Organismus entwickelt, kann man z.B. auf die *fortwährende* Zellteilung und Zelldifferenzierung bzw. auf die wechselseitige Beeinflussung von Genaktivierung und Organisationszustand etc. verweisen. Freilich ist diese Erklärung noch sehr allge-

mein: sie hat eine große Reichweite, aber eine geringe "Erklärungstiefe". Man kann den Mechanismus der Zellteilung *konkretisieren* und etwa folgende Erklärung anbieten: "Höhere Organismen entwickeln sich durch fortwährende Zellteilung, wobei eine Reihe undifferenzierter Zellen zunächst ein Blastemstadium durchläuft und sich später in drei Keimblätter differenziert, aus denen sich alle Organe entwickeln."

Diese Erklärung ist spezieller und "tiefer". Abermals könnte man noch "tieferere" Erklärungen einfordern und nach konkreteren Mechanismen verlangen: Wie und auf welchem Wege kommt es zur Ausbildung der Keimblätter? Auf welchem Wege kommt es bei den Säugetieren zur Ausbildung des Neurula-Stadiums? Welche Induktionsvorgänge bedingen die Differenzierung der Zervikal-, Thorakolumbar- und Sakralwirbel beim Menschen? Welche Signalmoleküle bewirken in der Entwicklung von *Drosophila melanogaster* die Differenzierung des Thorax-Segments? Welche Signalkaskaden werden im weiteren Entwicklungsgang ausgelöst? - und so weiter und so fort.

Obwohl entwicklungsbiologische Modelle vorliegen, um die Ontogenese auf einer bestimmten Ebene zu erklären, wird mit Blick auf die vorangestellten Fragen deutlich, dass diese Erklärungen, je nach Blickwinkel, immer noch *unvollständig* sind und es aufgrund der ungeheuren Komplexität der Vorgänge auch immer bleiben werden. In Anlehnung an JUNKERS Argumentation könnte man daher feststellen:

Die Mechanismen der zellulären Selbstorganisation komplexen Lebens (Individualentwicklung, Ontogenese) können nicht als geklärt gelten. Es wä-

re ein Euphemismus, wenn man nur von noch bestehenden "Erklärungslücken" sprechen würde. Denn damit würde suggeriert werden, dass die wesentlichen Fragen geklärt seien. Tatsächlich aber fehlt eine Erklärung für *die Ontogenese* trotz intensivster Bemühungen **vollständig**.

Intelligent Design: Der etwas gehaltvollere Burger



Abb. 1: "Intelligent Design - der etwas gehaltvollere Burger". Oder: Die Kunst der Kritik nach dem Rezept der Studiengemeinschaft *Wort und Wissen*. (Zum Vergrößern der Grafik ► [hier klicken](#).) Nach einer amerikanischen Karikatur von J. Blanchard.

Exakt diese Form der Argumentation (inklusive der Formulierungen) hat JUNKER in einem ► [anderen Text](#) gegen die Evolutionstheorie ins Feld geführt. Allerdings würde im konkreten Fall, wenn es also um die Individualentwicklung ginge, jeder sofort den rhetorischen Trick durchschauen. Denn es ist selbst Außenstehenden klar, dass zwar in der Tat hinsichtlich der mechanistischen *Details* noch viel Aufklärungs- und Forschungsarbeit zu leisten ist und dass man – je nach Betrachtungsebene – mehr und mehr Detailerklärungen einfordern kann. Aber das Fehlen von *Detailerklärungen* impliziert eben nicht **das**

generelle Fehlen von Erklärungen – auch und vor allem deshalb nicht, weil die Einblicke und Erkenntnisse in die Mechanismen immer komplexer und immer detailreicher werden. Dies betrifft den Erkenntnisfortschritt sowohl in der Entwicklungsbiologie als auch oder Evo-Devo-Forschung.

Hierin offenbart sich erneut ein eklatantes Verständnisproblem Reinhard JUNKERS hinsichtlich der Methodologie der Naturwissenschaften: Das normale Geschäft der Naturwissenschaft besteht zuallererst darin, einerseits von *allgemeineren* zu *spezielleren* Erklärungen fortzuschreiten, und andererseits die Tiefe der Erklärungen durch Entdeckung und Beschreibung allgemeiner Prinzipien zu erhöhen. *Vollständige* Erklärungen höchst selten, wenn nicht sogar praktisch ausgeschlossen. Diese Tatsache nutzt JUNKER regelmäßig als "Schlupfloch", um sich der Stringenz evolutionärer Erklärungen zu entziehen. Nur hat das Ausweichen in dieses "Schlupfloch" eben die fatale Konsequenz, dass – egal in welcher naturwissenschaftlichen Disziplin - **naturwissenschaftliche Erklärungen plötzlich keine naturwissenschaftlichen Erklärungen mehr wären**. Oder anders gesagt, dass Erklärungen, deren Tiefe *immer* suboptimal (d. h. im Zuge weiterer Forschung steigerbar) sind, aus genau diesem Grund **keine** Erklärungen wären, sondern allenfalls "vage Ideen".

Mithilfe der Beweistechnik der *reductio ad absurdum* lässt sich also nachweisen, dass JUNKERS Argumentation hinsichtlich des vermeintlichen Fehlens kausaler Erklärungen betreffs "Makroevolution" nicht konsistent durchgehalten werden kann. **Jene Anforderungen, die JUNKER**

an eine evolutionsbiologische Erklärung stellt, können von den Naturwissenschaften generell nicht eingelöst werden. Das Selbstverständnis der Naturwissenschaften fest im Blick behaltend folgt daraus, dass W+W ein fragwürdiges (bzw. falsches) Bild von den Naturwissenschaften kolportiert. Damit erledigen sich alle Einwände dieses Typus, so im Prinzip auch der folgende:

Evo-Devo: nur "Ideen"?

Prozesse der Ontogenese (Individualentwicklung) dürfen nicht ohne empirisch belegte Nachweise auf phylogenetische Abläufe abgebildet werden, sondern vermitteln allenfalls Ideen, die getestet werden müssen. Diesen für den Anspruch von Wissenschaftlichkeit entscheidenden Schritt übergehen Hemminger & Beyer in ihrem Beitrag, die von ihnen vorgestellten experimentellen Befunde erklären im Wesentlichen nur Aspekte von "Devo".

Empirische Wissenschaft – das ignoriert W+W seit Jahren – lebt vom sog. "methodischen Zirkel", den G. VOLLMER (1985, 177f) auch als "virtuosen Zirkel" bezeichnet, also vom wiederholten Durchlaufen von Beobachtung, Hypothesenbildung, logischer Schlussfolgerung und Überprüfung der Schlussfolgerung an der Beobachtung oder dem Experiment. Ebenfalls seit Jahren wird von W+W behauptet, diese Überprüfung (also der "empirisch belegte Nachweis") sei nicht möglich, wenn der zu erklärende Prozess **in der Vergangenheit** liege. Das ist ein grundlegender, sofort erkennbarer Irrtum – wenn man ihn nicht mit polemischer Absicht pflegt. Bietet die Plattentektonik keine empirisch belegte

geologische Theorie? Ist die Standardtheorie der Kosmologie einschließlich des Urknalls eine unprüfbare Spekulation?

Die Frage stellen, heißt sie beantworten: Soweit es Daten (beschreibendes Wissen) gibt, um Schlussfolgerungen zu *prüfen*, lassen sich vergangene Naturprozesse ebenso untersuchen wie gegenwärtige. **Wenn also empirisch nachgewiesene Mechanismen bzw. Veränderungen im Prozess der Ontogenese (z.B. Veränderungen in Konzentration und Wirkung morphogenetischer Proteine, etwa *BMP2* oder *Gremlin*) einen evolutionären Ablauf insofern erklären, als das betreffende Evolutionsmodell, das auf diese Mechanismen verweist, mit einer beobachtbaren biologischen Tatsache (z.B. Bildung einer Flughaut bei Fledermäusen) korrespondiert, dann ist das Modell empirisch belegt.** Darüber sollte es, seit Poppers "Hypothetico-Deduktivismus" in die wissenschaftliche Praxis der Theorienprüfung Einzug gehalten hat, nichts mehr zu diskutieren geben. Auch W+W sollte diese simple wissenschaftstheoretische Tatsache akzeptieren. Sonst muss sich die Studiengemeinschaft entweder der gezielten Täuschung ihrer Anhängerschaft oder der Ignoranz gegenüber wissenschaftlichen Argumentationsstandards bezichtigen lassen.

Kausale Erklärung von "Makroevolution": Beispiel Fledermausflügel

Um es noch einmal zu sagen: Wir sind dabei, die genetischen Grundlagen der Embryonalentwicklung *in den Grundzügen* zu verstehen. Mittlerweile sehen wir, welche epigenetischen Veränderungen die Säuger-

Vorderbeine bei Fledermäusen zu Flügeln werden lassen. Dies ist einzuordnen in einen evolutionstheoretischen Rahmen: Inwiefern bringen die neuen Erkenntnisse aus der Entwicklungsgenetik Licht ins Dunkel des Evolutionsgeschehens? Aus dieser Fragestellung ist das Forschungsprogramm der Evo-Devo erwachsen, es werden Beobachtungen gemacht, Hypothesen entworfen und getestet: Sind die vorgeschlagenen Mechanismen mit den Befunden der Embryologie, Paläontologie und Genetik kompatibel? Lässt sich auch ihnen ein stimmiges Evolutionsszenario ableiten? Wenn dieses Szenario anhand weiterer, neuerer Befunde geprüft wird: wird es bestätigt, oder ergeben sich Widersprüche? Lassen sich die Hypothesen mit den Ergebnissen von Laborexperimente und Beobachtungen an heutigen Mutanten vereinbaren oder erscheinen dann Diskrepanzen? So funktioniert empirische Wissenschaft. Diese Vorgehensweise wurde in unserem Buch am Beispiel der Evolution des Bauplans der Fledermaus erörtert, worüber sich JUNKER, wie nicht anders zu erwarten, recht despektierlich äußert:

Die Darstellung des Forschungsstandes zur Entstehung des Fledermausflügels ist gegenüber der Fachliteratur verkürzt und dadurch irreführend.

Dass im Rahmen eines populärwissenschaftlichen Sachbuchs *Vereinfachungen* unvermeidlich sind, ist selbstverständlich. Sogar in *Lehrbüchern* (und natürlich auch im "evolutionskritischen 'Lehr'buch" von W+W) finden sich derartige Verkürzungen, was für Kritiker, die einen Stil des "Dauerhörnelns" pflegen, recht praktisch ist. Daher lässt sich dieser destruktive Stil am

Beispiel "Fledermaus" auch eindrucksvoll darstellen:

Mit einem Gen, durch das die Länge von Extremitätenknochen beeinflusst wird, ist schließlich bei weitem nicht geklärt, wie die Form und physiologische günstigste Länge der einzelnen Fingerglieder, geschweige denn der Fledermausflügel als ganzes entsteht. Dasselbe gilt für die Entstehung der Flughäute. Für deren Entstehung wurde eine weitere notwendige, nicht hinreichende Bedingung entdeckt, nämlich die Unterdrückung des programmierten Zelltods zwischen den Fingergliedern. Das erklärt noch lange nicht die Entstehung der Flughaut, denn diese besteht aus weit mehr als nur aus Geweberesten zwischen den Fingern. Aber verlängerte Fingerknochen plus Flughaut ermöglichen immer noch keinen Flug. Dazu braucht es spezifisch agierende Muskeln und vieles mehr. Weiter oben wurde erläutert, warum das "explorative Verhalten" von Geweben, das die Autoren hier ins Spiel bringen, keine Antwort zur evolutiven Entstehung liefert. Bereits die beiden notwendigen Bedingungen "Verlängerung der Knochen" und "Bildung der Flughaut" müssten bei deren erstmaliger Entstehung – neben vielen weiteren Änderungen – gekoppelt auftreten, um einen Selektionsvorteil zu ermöglichen. HEMMINGER & BEYER machen es sich unter Ausblendung der Fülle an anatomischen, physiologischen und ontogenetischen Kenntnisse erneut sehr einfach mit einer angeblichen Erklärung zur Evolution des Fledermausflügels.

Wer von Evolution nur wenig versteht, auf den wirkt diese Begründung möglicherweise nicht ganz unplausibel. Tatsächlich aber attackiert hier JUNKER einen Strohmann, ein von ihm konstruiertes Szenario, das weit hinter dem aktuellen Forschungsstand

zurück bleibt. Unerwähnt bleibt hier vor allem, dass

- alle wesentlichen Strukturen, wie die "agierenden Muskeln und vieles mehr", bereits bei den entsprechenden Ahnenarten angelegt sind, so dass sich der *notwendige* "makroevolutionäre" Schritt hauptsächlich auf die Optimierung der bestehenden Strukturen konzentriert. Simpel ausgedrückt: Das kleine, baumlebende Säugetier, das den Gleitflug entwickelte, konnte seine Vorderextremitäten **schon vorher** aktiv bewegen.
- für einen ersten *passiven Gleitflug* weder eine spezifisch agierende Schlagmuskulatur erforderlich ist, noch eine besonders ausgeklügelte Form oder Lage der Fingerknochen – das alles sind **Optimierungsschritte** auf dem Weg zu einem **perfekten** Gleit- oder Schlagflug. Wenn man sich die Vielfalt heute lebender, gleitfliegender Wirbeltiere anschaut, wird man feststellen, dass für diese Fähigkeit eine Vielfalt von – zum Teil wenig spektakulär wirkender – Tragflächen-Konstruktionen ausreichen.
- es sich bei der Behauptung, *eine Kopplung* von Verlängerung der Fingerknochen und Bildung der Flughaut sei erforderlich, "um einen Selektionsvorteil zu ermöglichen", um einen Irrtum handelt, der einem Biologen nicht passieren sollte. JUNKER hätte sich eine Fledermaus anschauen sollen, am besten auch noch ein Flughörnchen. Die Tragfläche der

Fledermaus spannt sich nicht nur zwischen den Fingerknochen aus, sondern zwischen Oberarm, Unterarm, Körper und Hinterfüßen, bei vielen Arten sogar zwischen Hinterfüßen und Schwanz. Ein Gleitflug konnte also mit Tragflächen zwischen den vorhandenen Gliedmaßen beginnen, wie es beim Flughörnchen heute der Fall ist. Alle weiteren Schritte konnten **sequenziell** (nacheinander) miteinander kombiniert werden; jedes Stadium konnte einen Selektionsvorteil haben.

Die Fachwelt geht heute tatsächlich davon aus, dass die Gleitflughautbildung der Flügelbildung **vorausging**. Zum einen gab es viele Säugetiere, die mit Hilfe von Flughäuten zwischen Vorder- und Hinterbeinen den Gleitflug praktizieren und z.T. unterschiedliche Mechanismen des Gleitflughautaufspannens zeigen. Phylogenetische Befunde sprechen dafür, dass die Gleitflughaut innerhalb der Säugetiere sieben- bis achtmal *unabhängig* voneinander evolvierte. Erst *nach* der Evolution der Flughaut sind die Fledermausflügel entstanden, woran sich wiederum die Flügelverlängerung anschloss.

Zum anderen kann dieses Szenario anhand der Abbildungen 2 und 3 bei WEATHERBEE et al. (2006) verdeutlicht werden: Embryonal befindet sich bei allen Säugetieren zwischen den Fingeranlagen, und offenbar auch zwischen Extremitäten, Rumpf und Schwanz, Gewebe. Dieses Gewebe wird, wie oben gesagt, anschließend durch induzierten Zelltod (Apoptose) abgebaut. Die Apoptose wird induziert durch *bone morphogenetic proteins* (BMPs). Das

heißt, je mehr BMPs, desto weniger Häute. BMP2, welches die Haut in der Ontogenese abbaut, wird auch zwischen den Fingern (also in den "zukünftigen" Flughäuten) synthetisiert (Abb. 2 A), seine Wirkung jedoch bei den Fledermäusen durch die ebenfalls genau dort anwesenden BMP-Inhibitoren namens *Gremlin* (Abb. 3 A) und *Fgf8* (Fig. 3 E) gehemmt. Deshalb bleibt das Apoptose-Signal aus und die Haut bleibt bestehen; es entsteht, zwischen Fingern, Extremitäten, Rumpf und Schwanz, eine Flughaut.

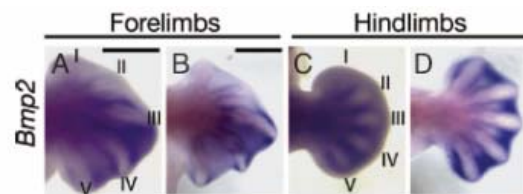


Abb. 2: Expression des Morphogens BMP2 in Vorderextremität (A,B) und Hinterextremität (C,D) der Fledermaus (WEATHERBEE et al. 2006).

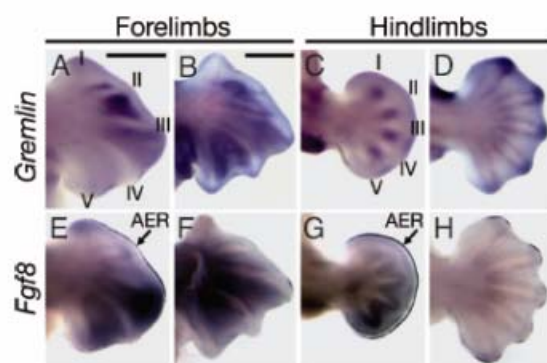


Abb. 3: Expression des BMP-Inhibitors *Gremlin* (A-D) und *Fgf8*-Signalwegs (E-H) in den Extremitäten der Fledermaus. (WEATHERBEE et al. 2006)

Der eigentlich interessante Punkt ist nun, dass BMP2 nicht nur den induzierten Zelltod, sondern auch eine Fingerverlängerung

bewirkt. Dieses wird in den Fingerspitzen der Fledermäuse gehäuft synthetisiert. Diese wachsen dann weiter und ziehen die Flughaut mit. Wenn aber dieses BMP2 unmittelbar um die Fingerspitzen herum apoptotische Wirkung hätte (also dort *nicht* durch Gremlin und Fgf8 gehemmt werden würde), könnten die Flughäute dieses Wachstum nicht mitmachen. **Folglich konnte die Fledermausflügelbildung erst stattfinden, nachdem die Inhibition der Häutchen-Apoptose durch Fgf8 und/oder Gremlin bereits etabliert war. Das heißt, dass die Vorfahren der Fledermäuse bereits Gleitflughäute besessen haben müssen!**

Das von JUNKER ignorierte Szenario, wonach dem aktiven Schlagflug zunächst der Gleitflug voraus ging, wird nicht nur durch embryologische Daten gestützt, sondern lässt sich auch anhand der Mosaikform *Onychonycteris* plausibel machen. Wenn man sich die Flügel der Zwischenform genauer ansieht, dann fällt auf, dass es sich nicht um genaue Pendanten moderner Fledermausflügel handelte, denn im Gegensatz zu den Flügeln moderner Fledermäuse sind die Unterarme von *Onychonycteris* verhältnismäßig kurz. Das Tier konnte mit seinen kurzen Flügeln wahrscheinlich keinen ausdauernden Schlagflug vollbringen. *Onychonycteris* befand sich vielleicht immer noch im Übergangsbereich zwischen Gleitfliegen und Schlagfliegen.

Evolution: unzulässiges Vereinfachen oder Verkomplizieren?

Mit Blick auf die vorangegangenen Ausführungen steht also fest, dass die "makroevolutive" Entstehung der Fledermausflügel

zumindest von den morphogenetischen Mechanismen her kausal erklärt *ist*. Weiterhin kann man auf JUNKERS Vorwurf, die Autoren tendierten dazu, die Evolution zu vereinfachen, entgegenen: **JUNKER macht die einzelnen Schritte evolutiver Entwicklung unter Ausblendung der Fülle an anatomischen, physiologischen, paläontologischen und ontogenetischen Kenntnissen viel komplizierter und unwahrscheinlicher, als sie vor dem Hintergrund der modernen Erkenntnisse tatsächlich angenommen werden muss!** In jedem Fall muss er sich den Vorwurf gefallen lassen, fehlende Detailerklärungen (d.h. fehlendes Wissen) regelmäßig zu einer Unwahrscheinlichkeits-Annahme umzudeuten, um den Eindruck zu erwecken, eine Evolution der betreffenden Art oder des betreffenden Artmerkmals sei sehr unwahrscheinlich.² Dieses Vorgehen ist wissenschaftlich unstatthaft. Auf S. 230 unseres Buches wurde es ganz ähnlich kritisiert: JUNKER behauptet, wenn man das ganze Ausmaß des nichtlinearen Systemgeschehens betrachte, dann sei eine natürliche Evolution sehr unwahrscheinlich.

Diese Botschaft zieht sich mehr oder weniger durch alle Texte von W+W, so

² Notorisches Problem für Evolutionsleugner ist jedoch, dass solche Unwahrscheinlichkeits-Annahmen durch neuere Forschungsergebnisse regelmäßig *ad absurdum* geführt werden – so war es schon bei dem "Bakterienmotor" von *Escherichia coli* und bei dem Blütenstand des Aronstabs der Fall (vgl. dazu die Beiträge von Sikorski 2009 und Schneckenburger 2009 im selbigen Buch). Leider lernt W+W in dieser Hinsicht offenbar nichts dazu, sondern praktiziert das *argumentum ad ignorantiam* immer wieder an neuen Beispielen, deren Unwahrscheinlichkeits-Szenarien dann in Kürze erneut widerlegt werden usf.

auch bei JUNKER (2010b):

Wenn ein Regulationsgen in einen neuen Kontext eingebaut werden und dort funktionieren soll, genügen einzelne Mutationen nicht, sondern mehrere Änderungen müssen in einer Art "konzertierten Aktion" aufeinander abgestimmt erfolgen.

Das aber ist – wie sich mehr und mehr heraus stellt – eine gänzlich unbewiesene, ja sogar mit systemtheoretischen Überlegungen unvereinbare Annahme. *Das Gegenteil ist der Fall!* Fast alle Vertreter einer Systemtheorie der Evolution (und somit auch Evo-Devo-Vertreter) sind sich darin einig (und begründen dies auch theoretisch), dass die "Systemisierung", also die Verschalten der Gene zu einem hierarchisch strukturierten Gensystem ("*epigenetischen System*", wie RIEDL es nennt), das unter der Kontrolle relativ weniger Mastergene steht, eine Evolution nicht erschwert, sondern wesentlich erleichtert: **Mit jeder Verschaltung von Genen und den damit korrelierenden Phänen zu funktionell integrierten Einheiten ("Modulen") steigt die Anpassungschance.**³

³ Um dies zu zeigen, genügt eine einfache Modellrechnung: Man stelle sich eine Struktur vor, die durch zehn Gene kodiert wird. Nehmen wir an, die Chance, dass in jedem der zehn Gene *unabhängig* voneinander eine passende Mutation auftritt, läge jeweils bei 10^{-6} . Dann würde die Wahrscheinlichkeit einer positiven Veränderung der Gesamtstruktur $(10^{-6})^{10} = 10^{-60}$ betragen. Kommt es aber zu einer *Verschaltung* der zehn Gene unter einen gemeinsamen Regulator, müssen die Gene nicht mehr unabhängig voneinander mutieren – die Chance, durch Änderung des Regulatorgens das System *als Ganzes* selektionspositiv zu verändern, bleibt im Prinzip bei 10^{-6} . Vgl. zu diesem Punkt auch RIEDL (2002, 202-206).

Den Sachverhalt kann man wie folgt veranschaulichen: Stellen wir uns einen kleinen, auf Bäumen lebenden Säuger vor, der weit durchs Geäst springen kann, und die ökologischen Umstände seien so, dass ein starker Selektionsdruck Richtung Flugfähigkeit besteht; der anatomisch und physiologisch günstigste Weg laufe über Verlängerung der vorderen Fingerglieder. Was würde passieren, wenn alle embryonalen Bildungsvorgänge **getrennt** gesteuert würden (was ja genetisch durchaus der Fall sein könnte, und ein "Designer" hätte die Embryogenese ja so planen können)? Die Antwort ist simpel: eine Vielzahl von Genen, welche die Ausbildung der Knochen, der Muskeln, der Sehnen, der Nerven, der Blutbahnen steuern, müssten rein zufällig **gleichzeitig** und gleichsinnig mutieren! Das kann nicht funktionieren. Man kann also so weit gehen zu sagen, dass das Vorhandensein solcher genetisch derart komplett *getrennten* Entwicklungswege eine Evolutionsbremse (und damit in solch einem Kontext ein Argument gegen Evolution) wäre.

Nun sieht die Realität ganz anders aus! Auf genetischer Ebene finden wir regulatorische Netzwerke⁴, was in unserem

⁴ In Wahrheit ist die Steuerung und Verschaltung entwicklungsbiologischer Prozesse komplexer als hier angedeutet. Nur drei Aspekte hierzu: Erstens kann eine Verschaltung dadurch stattfinden, dass es eine Hierarchie von Genen – an der Spitze sog. "Master-Gene" – gibt, was dazu führt, dass eine Vielzahl von Genen "im Gleichtakt" koordiniert, an- oder abgeschaltet werden. Zweitens greifen viele Regulator-Gene nicht nur in einen einzigen Prozess ein. Es gibt in regulatorischen Netzwerken mehrere, parallele Pfade, so dass einzelne Elemente sich verändern oder sogar ausfallen können, ohne dass es zum Zusammenbruch des Systems kommt. Drittens können entwicklungsbiologische Prozesse kettenartig verknüpft sein: Induktor-

Beispielfall folgendes bedeutet: *Eine einzige* Mutation kann dazu führen, dass die Wachstumsphase *aller* Knochen der Vorderextremitäten verlängert (weil es ein Gen ist, welches eben alle Vorderbeinknochen ansteuert bzw. das Entwicklungsmodul als Ganzes beeinflusst). Also werden sich die Ober- und Unterarme sowie Hand- und Fingerknochen verlängern. Die Ausbildung der Muskulatur, der Nerven und der Blutbahnen wird aber nicht autonom gesteuert, sondern diese Strukturen folgen – wiederum genetisch bedingt – dem sich ausbildenden Knochengüst; daher bedarf es keiner weiteren Mutationen für die Anpassung dieser Systeme (dessen ungeachtet können natürlich später noch weitere Mutationen in untergeordneten Systemen erfolgen, so dass der Bauplan weiter optimiert werden kann!). Kurz: Die einzelnen Strukturen, die beim Aufbau der Organsysteme beteiligt sind, müssen folglich nicht mehr "warten", bis alle anderen "richtig" mutieren – unbeschadet der Möglichkeit (und vermutlich auch Notwendigkeit) eines späteren "fine tunings". Genau dies ist der Grund, warum wir solche Gennetzwerke überhaupt vorfinden: Organismen, die eine derartige Verschaltung entwickelt haben, hatten weit reichende Möglichkeiten der evolutiven Entwicklung. So mancher Bauplan mag vielleicht gerade deswegen "evolutiv konserviert" geblieben sein, weil er solche plastischen, anpassungsfähigen regulativen Netzwerke nicht entwickelt hat, son-

oder Botenstoffe definieren Körperachsen, Ansatzpunkte für Extremitäten etc., so dass die nachgeordneten Entwicklungs-Steuerungssysteme daran anknüpfen können (in unserem Beispiel die Nerven- und Muskelentwicklung, welche den Knochen folgt).

dern durch starre biogenetische Steuerungssysteme in eine entwicklungsbiologische Sackgasse geraten ist. Hier sind in mittlerer und fernerer Zukunft noch hochinteressante Forschungsergebnisse zu erwarten.

Wir sehen: Es zeugt von einer Verkennung elementarer evolutionärer Zusammenhänge, wenn immer und immer wieder darauf verwiesen wird, dass die Abhängigkeiten der mehreren Tausend Gene, die bei der Entwicklung des Auges oder der Muskulatur unter der Kontrolle weniger Mastergene exprimiert werden, durch die Evolution *gleichzeitig* berücksichtigt werden müssten, so z.B. auch unlängst wieder [▶ JUNKER 2010c: Muskelmasse: 2785 Gene für ihre Funktion](#). Dabei zäumt er sozusagen das Pferd vom falschen Ende her auf, denn es verhält sich, wie bereits gesagt, eben genau umgekehrt: Was wir *heute* beobachten, ist nur das Endergebnis einer langen Serie additiver Gen-Verschaltungen. Ausgangspunkt sind oder waren einige wenige Strukturgene bzw. einfache Strukturen, die unter der Kontrolle eines oder weniger Regulatorgene gestellt wurden und dabei *zufällig* eine sinnvolle Funktion herstellten. Wo das der Fall war, konnten *Schritt für Schritt* weitere Gene unter den Regulator verschaltet werden und weitere regulative Netzwerke hinzu kommen, und **jeder einzelne Verschaltungsschritt kann auf seine Tauglichkeit hin getestet werden**.

Fazit: Auch den komplexesten Interaktionen können einfache Prinzipien zugrunde liegen, und die *Nichtlinearität* des Vorgangs bringt wie besprochen weitere Vorteile. Die Evolutionsgegner jedoch

kehren unablässig die Vorteile der gesteigerten Anpassungschancen durch Genverschaltung unter den Teppich, nur um einseitig die *Schattenseiten* der Genkopplung (die es natürlich auch gibt) hervorzukehren: Einschränkung des evolutionären Gestaltungsspielraums durch *constraints*. Das ist aber keine kompetente Darstellung der Evolution und ihrer Prinzipien. JUNKER hat lediglich insofern Recht, als dass evolutionäre Erklärungen tatsächlich konzeptionell und didaktisch (!) vereinfachte Darstellungen des Systemgeschehens sind. Dass wir die Möglichkeiten und Grenzen eines Prozesses wegen seiner Komplexität nicht durchschauen, impliziert keinesfalls dessen Unplausibilität oder Unwahrscheinlichkeit. Und die Unvollständigkeit einer Erklärung impliziert nicht das Fehlen einer Erklärung!

Falsche Verwendung von Begriffen?

Der Beitrag enthält zudem fachliche Fehler, insbesondere werden Schlüsselbegriffe (z.B. Heterochronie) z.T. falsch definiert und angewendet.

Dieser Vorwurf trifft bestenfalls nur teilweise zu: In der Tat bezieht sich "Heterochronie" zunächst einmal ausschließlich auf *zeitliche* Verschiebungen in der Embryogenese. Das hat allerdings sehr oft *räumliche* Verschiebungen zur Folge, so dass der Übergang zu Heterotopien und Heterometrien fließend ist. Es sollte klar sein, dass die Materie im Rahmen eines populärwissenschaftlichen Sachbuchs nicht erschöpfend dargelegt werden kann (und auch nicht muss!). Wenn JUNKER in seinem Kommentar z.B. schreibt, die "*Wendung 'Gene steuern'*" sei "*eine unsaubere Aus-*

drucksweise (...) *Regulationsgene (...)* *steuern selbst nicht*", so kann man auch dies als "falsch" brandmarken, denn selbstverständlich *steuern* Regulationsgene (wer denn wohl sonst?). Wer sich allerdings in der Materie auskennt weiß, was JUNKER im gegebenen Kontext im Blick hat und dass er (vermutlich) das Richtige meint. Ferner betont er, dass er dies nicht vertiefen wolle – also wäre es abwegig, ihn hier eines Fehlers zu bezichtigen – denn wir wollen seinen Text ja nicht lesen "wie der Teufel die Bibel liest". Es wäre zu wünschen, dass auch W+W ihren doppelten Maßstab aufgibt, der Teil ihres nörgelnden Stils ist, nämlich evolutionsbiologische Texte mit größtmöglichem Misstrauen auf Unstimmigkeiten hin abzuklopfen, aber für die eigenen Texte eine möglichst wohlwollende Lektüre zu verlangen.

Wie empfindlich W+W selbst auf Kritik reagiert, belegt die folgende Passage:

Die beiden Autoren befassen sich in ihrem Beitrag auch mit einem kritischen Artikel über Evo-Devo von JUNKER (2007). Dieser Teil ist durchsetzt von unwahren und sinnentstellenden Aussagen...

Der Leser vergleiche unseren Text mit den darin enthaltenen kritischen Analysen mit JUNKERS Text, auf den er sich bezieht sowie mit seiner Verteidigung.

Das Verhältnis zwischen Synthetischer Theorie und Evo-Devo

... und lässt erkennen, dass von den Autoren wichtige Teile der Evo-Devo-Literatur nicht zur Kenntnis genommen wurden. Auffällig sind hier besonders eine fehlerhafte und geschönte Wider-

gabe der Ausgangssituation der Evolutionsbiologie, sachliche Entstellungen von Argumenten sowie eine inkorrekte Einverleibung von Evo-Devo in das überkommene Gebäude der Synthetischen Evolutionstheorie.

Zu dieser Einschätzung gelangt JUNKER, indem er der Synthetischen Theorie der Evolution falsche Grundpositionen unterschiebt, z.B. die Unterstellung, dass diese Theorie "eine einfache Beziehung zwischen Genotyp und Phänotyp" postuliere, was er mit folgendem Zitat zu belegen versucht:

Das Erklärungsschema "Zufallsmutation (genetische Ebene) und Auslese (phänotypische Ebene)" wird als ausreichend für den ganzen Formenwandel betrachtet (Abb. 1). Entsprechend gilt die Beziehung zwischen Genotyp und Phänotyp als einfach; der genaue Weg vom Genotyp zum Phänotyp wird für das Verständnis evolutiven Wandels als irrelevant betrachtet (AMUNDSON 2005, 166; STOTZ 2005, 349).

Merkwürdig ist nur, dass man weder bei AMUNDSON (2005, 166) noch bei STOTZ (2005, 349) in dieser Sache fündig wird – **über eine einfache Beziehung zwischen Genotyp und Phänotyp wird in den betreffenden Kapiteln gar nichts gesagt!** Bei STOTZ lesen wir zwar, dass die "Erzverfechter der modernen Synthese in ihr eine Erklärung sehen, die alle notwendigen und hinreichenden Bedingungen der Evolution erfasst", während "für Kritiker der verschiedensten Richtungen diverse Erklärungslücken" bestehen. Aber selbst wenn nach Ansicht "der" Synthetischen Theorie der Evolution das Erklärungsschema "Zufallsmutation (genetische Ebene) und Auslese (phänotypische Ebene)"

als *ausreichend* betrachtet würde, folgt daraus weder, dass der Synthetischen Theorie zufolge eine *einfache* Korrelation zwischen Genotyp und Phänotyp vorherrsche, noch dass ontogenetische Aspekte in der Evolution keine Rolle spielten. Diese Behauptung hat JUNKER also frei erfunden. Zudem wird weder bei R. JUNKER noch bei STOTZ dargelegt, wer diese "Erzverfechter der modernen Synthese" seien, die behaupten "alle notwendigen und hinreichenden Bedingungen der Evolution erfasst" zu haben.

BEURTON (1999, 86), einer der wenigen exzellenten Kenner der Synthetischen Theorie, unterscheidet zwei Schulen, nämlich die "*theoretische Populationsgenetik*" von der "*naturalistischen Populationsgenetik*". **Ausschließlich die Vertreter der theoretischen Populationsgenetik stehen nach Auffassung von BEURTON in der Tradition eines Genreduktionismus, der davon ausgeht, dass das Wissen um die Änderung von Genhäufigkeiten in Populationen zum Verständnis der Evolution ausreicht⁵.** Die *naturalistische Populationsgenetik* dagegen nahm nach BEURTON bereits damals einen dezidiert komplexen Zusammenhang zwischen Gen und Phänotyp an ("Der Selektionswert eines Gens ist ein Ergebnis aller seiner Kombinationen" E. MAYR; BEURTON a.a.O., 86). Und als Vertreter der "Synthese" haben sich nach BEURTONS Auffassung immer nur die *Naturalis-*

⁵ Für die Frühzeit der Synthetischen Theorie mag dies tatsächlich mehr oder weniger zutreffend gewesen sein, mit dem heutigen Wissensstand dürfte sich kaum noch ein Genetiker / Populationsgenetiker finden lassen, der an einen simplen, rein genetisch fixierten Gen-Phän-Zusammenhang glaubt.

ten bezeichnet, also bedeutende Architekten der Synthetischen Theorie wie DOBZHANSKY, FORD, MAYR, SIMPSON, STEBBINS usw.

Wenn also STOTZ, im Gefolge von JUNKER, den "Erzverfechter der modernen Synthese" eine genreduktionistische Grundhaltung attestiert, dann ist das eine klare Fehletikettierung. Man muss differenzieren und darf nicht alle Vertreter der Synthetischen Theorie über einen Leisten schlagen, auch dann nicht, wenn es sich als Strohmann-Argument anbieten sollte. (Damit ist an dieser Stelle genug gesagt, nähere Ausführungen zum Thema Evo-Devo und Synthetische Theorie finden sich im Anhang).

Ein Großteil der kritischen Analyse des Evo-Devo-Ansatzes durch JUNKER (2007) wird von Hemminger & Beyer dagegen nicht einmal erwähnt. Der Beitrag der beiden Autoren erschien im Sammelband "Evolution im Fadenkreuz des Kreationismus". Dessen Anspruch, Argumentationen von "Evolutionsgegnern" kritisch zu analysieren, wurde im Beitrag von Hemminger & Beyer deutlich verfehlt.

Dieser Vorwurf geht schon deshalb ins Leere, weil es alles anderes als einfach ist, den 40 Seiten langen Text von Reinhard JUNKER auf biologische Argumente zu verdichten. Denn davon findet man nicht annähernd so viele, wie JUNKER selbst meint. Wie die Verweise auf AMUNDSON (2005, 166) und STOTZ (2005, 349) beweisen, bedient sich JUNKER über weite Bereiche der üblichen "ceremonial citations", die im Gesamtzusammenhang entweder irrelevant oder schlicht irreführend sind, weil sie die Diskussion innerhalb von Evo-Devo

entweder einseitig wiedergegeben oder verfälschen (oder beides) oder weil sie für die Fundamental-Kritik Reinhard JUNKERS nichts hergeben. Die (wenigen) biologischen Argumente, derer sich JUNKER bedient, und die vor dem Hintergrund unserer Betrachtungen bedeutsam waren, wurden jedenfalls kritisch analysiert, wovon sich der Leser durch Lektüre unseres Buchs selbst überzeugen kann.

Bleibt die Mechanismenfrage ohne überzeugende Antwort?

Im Folgenden sollen noch zwei letzte Kritikpunkte angesprochen werden:

Die Frage ist, ob das Wechselspiel von genetischen Veränderungen und Selektion eine hinreichende naturwissenschaftliche Erklärung für die Evolution der irdischen Lebenswelt liefert! Die gegenwärtige Biologie beantwortet diese Frage mit Ja" (HEMMINGER 2007, 22). Entgegen diesem "Ja" gibt es unter Evolutionsbiologen eine zunehmende Kontroverse über die Mechanismen des Artenwandels (wenn auch nicht über das "Ob" der Evolution). LEDONRETTIG et al. (2008, 326) stellen fest: "Eines der bedeutendsten ungelösten Probleme der Biologie ist das Verständnis, wie neue, komplexe Phänotypen entstehen, sowohl in der individuellen Entwicklung als auch in der Stammesgeschichte." Oder ARTHUR (2007, 261): "How do novelties arise? We can't yet agree on a definition for them, let alone answer this fundamental question."

Dies ist wieder ein Beispiel dafür, wie JUNKER Erklärungen auf verschiedenen Ebenen vermischt, weil er das Wesen einer theoretischen Erklärung nicht erfasst hat (siehe

oben), und wie er dadurch einen verfälschenden Eindruck vermittelt: Die Frage, ob wir auf einer *allgemeinen* Erklärungsebene mit genetischer Variation und Selektion (in all ihren Varianten) die grundlegenden Triebkräfte der Evolution kennen, ist eine Frage, die von der überwältigenden Mehrheit der Wissenschaftler mit "ja" beantwortet wird. Das schließt selbstverständlich nicht aus (und das wird von uns auch nicht bestritten), dass es auf einer **konkreteren** Ebene eine Kontroverse darüber gibt, inwieweit bestimmte Faktoren zur Erklärung zureichend sind. Die Frage also, ob wir **im Detail** alle Mechanismen verstehen, welche die Entwicklung neuer Baupläne etc. verursachten, ist eine ganz andere Frage auf einer vertieften Erklärungsebene. Unserer Meinung nach (und nach Meinung der meisten Fachleute) verstehen wir die Mechanismen in Grundzügen; von einem detaillierten und damit noch tieferen Verständnis sind wir jedoch – so der generelle Konsens – noch mehr oder weniger weit entfernt.

Wenn es so ist, warum sagt W+W es seinen Lesern nicht? Weshalb wird versucht, einen falschen Gegensatz zwischen der Auffassung von HEMMINGER/BEYER (2009) auf der einen Seite und Experten wie z.B. ARTHUR (2007) zu konstruieren? Zur Erinnerung: Der nach JUNKER "... fast grenzenlose Glaube in die schöpferische Macht von Heterochronien" (genauer: verschiedenen Varianten der *Heterogenese*) **ist nicht unser Glaube, sondern nach Auffassung fast aller Fachleute, darunter wiederum seitens ARTHUR (2004) ein auf empirischen Tatsachen beruhender, mächtiger Werkzeugkasten zur Erklärung der so titulierten**

"makroevolutionären" Veränderungen. Am Deutlichsten hat dies S. CARROLL (2008, 18f) zum Ausdruck gebracht:

Tatsächlich räumen die neuen Fakten und Erkenntnisse aus der Entwicklungsbiologie und der Evo Devo mit den kläglichen Überresten einer abgedroschenen, die Evolution leugnenden Rhetorik über die Bedeutung von Zwischenformen oder die Wahrscheinlichkeit, dass sich komplexe Strukturen entwickeln, auf. Wir haben inzwischen eine Vorstellung davon, wie sich von einer einzelnen Zelle aus die Komplexität eines ausgewachsenen Tieres entwickelt. Außerdem können wir mithilfe einer Reihe vollkommen neuer effizienter Methoden beobachten, wie sich durch Veränderungen in der Embryogenese die Komplexität und Vielfalt erhöht. Die Entdeckung des uralten genetischen Werkzeugkastens ist ein eindeutiger Beleg dafür, dass Tiere wie Menschen von einem einfachen gemeinsamen Vorfahren abstammen, der dann modifiziert wurde.

Solche Stimmen werden von W+W gerne ignoriert, da sonst zu offensichtlich wäre, dass die These, wir würden Behauptungen in die Welt setzen, die den Ergebnissen und Meinungen der Fachleute von Evo-Devo widersprechen, zu keiner Zeit der Wahrheit entsprach. JUNKER weiter:

HEMMINGER & BEYER (2009, 139) behaupten dennoch, dass Module schon "durch einfache Mutationen in komplexer Weise intern umstrukturiert werden können"; das ist jedoch nicht durch empirische Befunde gedeckt.

Man kann JUNKER hier nur den Ratschlag geben, unser Kapitel sorgfältig zu lesen (man muss sich fast fragen, ob er es über-

haupt gelesen hat). Es sei hier nur auf zwei Beispiele von vielen hingewiesen, nämlich zum einen auf das auf S. 166 in unserem Buch erwähnte Beispiel des Schlammspringers: Experimente an Schlammspringern haben gezeigt, dass einfachste Veränderungen eine vielschichtige Wirkung auf das Merkmalsgefüge haben können: Nach mehrmonatiger Behandlung mit dem Hormon Thyroxin wurden die (sowieso schon kräftigen) Brustflossen zu beinchenartigen Extremitäten, die Haut wurde dicker, die Kiemen wurden verkleinert, die Luftatmung nahm zu usw. usf. Im Ergebnis konnten es die so behandelten Fische länger außerhalb des Wassers aushalten als vorher. **Dies sind kausale Einsichten, die im Labor heute noch Hinweise auf die Ursachen makroevolutionären Veränderungen beim Übergang von einem Leben im Wasser an das Leben an Land geben.**

Zum anderen wollen wir auf die von uns angeführte Blüte des Löwenmäulchens *Antirrhinum* hinweisen, bei dem ein einziges Allel dafür verantwortlich ist, ob die Blüte asymmetrisch (zygomorph) oder radiär-symmetrisch ist. Dieses Beispiel wurde auf S. 156 angesprochen. Zufällig gibt es zur Blütenbildung beim Löwenmäulchen noch einen weiteren einschlägigen Befund: Sie wird maßgeblich von einem stark konservierten Kontrollmolekül, einer so genannten microRNA, gesteuert. Das sind sehr kurze Ribonukleinsäuren aus etwas mehr als 20 Nukleotiden. Sie können an die komplementäre Sequenz einer Boten-RNA (mRNA) binden, wodurch die Übersetzung der Boten-RNA in ein Protein verhindert wird; das dazugehörige Gen wird quasi abgeschaltet. Durch diese In-

teraktion beeinflussen microRNAs den Ablauf ganzer Signalketten. Die entsprechende RNA fehlt bei einer Mutante, die anstelle der Blütenblätter einen Kreis kompletter und funktionsfähiger Staubblätter ausbildet. Eine ähnliche Mutante gibt es auch bei Petunien, Ursache ist bei beiden Pflanzen eine einzige Mutation im selben kleinen Kontrollmolekül (CARTOLANO et al. 2007).

Apart ist der Umstand, dass dieses Ergebnis auf deutscher Seite von Wissenschaftlern des Max-Planck-Instituts für Züchtungsforschung (MPIZ) in Köln erarbeitet wurde, also dem Institut, dem der inzwischen im Ruhestand befindliche Evolutionsleugner Wolf-Ekkehart LÖNNIG angehörte. Nicht nur er, sondern der Kreationismus insgesamt, mit all seinen Scheinargumenten, wird von der Forschung immer weiter hinter sich gelassen.

Zusammenfassung und Fazit

Die Kritik der Studiengemeinschaft W+W ist destruktiv und unfruchtbar. Bei der Rezeption evolutionsbiologischer und anti-kreationistischer Texte wird ein permanent nörglerischer Stil gepflegt und Aussagen möglichst ungünstig interpretiert. W+W treibt den Skeptizismus auf die Spitze, wodurch, so das Kalkül, der Eindruck generellen Zweifels und der Ungewissheit vermittelt wird. Dies hat aber zur Folge, dass die Kritik mit naturwissenschaftlichem Denken und empirisch-wissenschaftlicher Methodik nicht mehr allzu viel zu tun hat. Auch an weiten Teilen des Inhalts der von W+W kritisierten Texte geht ihre Kritik vorbei. In unserem Falle betrifft das u.a. die angeblich falsche Verwendung von Fachbegriffen.

Des Weiteren nimmt W+W immer noch nicht zu Kenntnis, wie empirische Wissenschaft funktioniert und was das Wesen des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns ist. Zwar klingen die vorgebrachten Argumente möglicherweise für Laien plausibel, fallen aber bei näherer Betrachtung in sich zusammen. Solange sich die Studiengemeinschaft auch weiterhin weigert, zu verstehen, was man in den Naturwissenschaften unter einer *Erklärung* versteht und solange sie weiterhin fälschlicherweise behauptet, eine "Makroevolution" sei "nicht erklärt", kann es zu keinem vernünftigen Dialog mit den Naturwissenschaften kommen. So gesehen braucht sich W+W nicht darüber zu wundern, dass die Fachwelt ihre Darstellungen überwiegend ignoriert.

Drittens werden gezielt Hürden aufgebaut, die in Wahrheit nicht existieren. Sei es, dass Evolution bewusst komplizierter und unwahrscheinlicher gemacht wird, als sie in theoretisch angenommen werden muss, sei es, dass Gegensätze zwischen den verschiedenen Teiltheorien konstruiert werden, die es nicht gibt, sei es, dass wichtige evolutionsbiologische Erkenntnisse missachtet oder so umgedeutet werden, dass der Eindruck entsteht, sie sprächen gegen Evolution. Dass dabei – immer wieder – zentrale Teile unserer Argumentation sowie theoretische und empirische Fortschritte der Wissenschaft ignoriert werden, liegt auf der Hand.

Dem Leser sei empfohlen, die beiden Texte von W+W sowie das Evo-Devo-Kapitel aus unserem Buch zu lesen und miteinander zu vergleichen. Mehr braucht dazu nicht gesagt zu werden.

Anhang: Evo-Devo und die Synthetische Theorie der Evolution.

Wie oben bereits erwähnt, haben sich nach Auffassung von BEURTON (1999) nicht die *Genreduktionisten* (die Verfechter einer reduktionistischen *theoretischen Populationsgenetik*), sondern die Vertreter einer "*naturalistischen Populationsgenetik*" als Vertreter der Synthetischen Theorie der Evolution bezeichnet, also bedeutende Architekten wie DOBZHANSKY, FORD, MAYR, SIMPSON, STEBBINS usw. Lesen wir nochmals BEURTON (1999, 89) dazu:

Damit wird ... allemal klar, dass **nur** die naturalistische Tradition Träger dieser von ihr so genannten Theorie ist. Dies gilt noch unabhängig davon, inwieweit diese Autoren auch **wirklich** eine Synthese vollbracht haben; bereits die Intention hat schulbildend gewirkt. Halten wir fest: Die Synthetische Theorie ist inhärent naturalistisch und anti-typologisch. Oder: Wer unter den Populationsgenetikern nicht naturalistisch oder aber typologisch orientiert ist, kann im Großen und Ganzen nicht als Vertreter dieser Theorie gelten.

Charakteristisch für die anti-reduktionistische Haltung ist MAYRS legendäre "Bohnenkorb-Attacke", mit der er sich auf der Cold-Spring-Harbor-Konferenz von 1959 gegen den Genreduktionismus wandte:

Die frühe Populationsgenetik richtete ihr Hauptaugenmerk auf die Häufigkeit von Genen [in Populationen; MN] und auf die Verschiebung der Genhäufigkeit durch Mutation, Selektion und zufälligen Ereignissen (Gendrift). Jedes Gen wurde als eine unabhängige Einheit betrachtet ... Diese Periode wurde ge-

prägt durch die Tendenz zur Übervereinfachung. Evolutionäre Veränderungen wurden auf das Ein- und Auslesen von Genen reduziert, vergleichbar mit dem Hinzufügen bestimmter Bohnen zu einem Sack voller Bohnen ... Aber was hat dieses mathematische Modell zur Evolutionstheorie konkret beigetragen, wenn ich einmal diese provokative Frage stellen darf? (MAYR 1959, 2; Übersetzung MN).

Ernst MAYR hat auch die Rolle der entwicklungs-genetischen Steuerung für die Evolution unterstrichen und betont, dass hier noch sehr viel Wissen fehle. ► [MAYR](#) dazu:

Die Hox-Gene spielen im Embryo eine wichtige Rolle. Ein solches Hox-Gen bestimmt zum Beispiel durch die Produktion eines bestimmten Proteins, welche Stelle im Ei zum Vorderteil wird. Was ich wissen möchte, ist, wie dieses Protein funktioniert, welche Stelle des Proteins entscheidend ist, und der Ablauf von welchen Ereignissen letztendlich zu der sichtbaren Wirkung führt, dass das Ei plötzlich Vorder- und Hinterteil hat, die sich von einander unterscheiden. Was die Proteine tun, um den Organismus aufzubauen, darüber weiß man fast noch nichts. Das ist nicht das einzige, aber ein wichtiges Gebiet, was noch eher unbeackert ist.

Realiter hat sich die Synthetische Theorie der Evolution also als naturalistischer *Gegenzug*, mindestens als wichtige und entscheidende Ergänzung, zur genzentrierten Populations- und Transmissionsgenetik konstituiert (BEURTON 1999, 103) und eben *nicht*, wie JUNKER behauptet, als genreduktionistisches Programm, welches mit der Mutation und Selektion bereits alle Instrumente ei-

ner vollständigen Erklärung in Händen zu halten glaubt ("*Alle wesentlichen Fragen der kausalen Evolutionsforschung sind längst beantwortet*").

Die Tatsache, dass insbesondere Kreationisten (und andere Evolutionskritiker, z.B. Esoteriker) notorisch davon überzeugt sind, Evo-Devo passe nicht in die Synthetische Theorie der Evolution, zeigt, dass sie beides nur sehr verzerrt wahrnehmen. Die frühen Versionen der Synthetischen Evolutionstheorie entstanden zu einer Zeit, als die Entwicklungsbiologie noch wenig Beziehung zur Genetik hatte. Es gab deshalb nur sehr unklare Vorstellungen darüber, wie Phylogenese und Ontogenese verknüpft sind. Erst auf der Grundlage einer genetischen und molekularen Entwicklungsbiologie ließen sich konkrete Hypothesen entwickeln, dadurch wurde Evo-Devo begründet. Daher liegt es in der Natur der Sache, dass Evo-Devo kein originärer Bestandteil der **ersten** Synthese sein konnte. Dass die beiden Felder (logisch wie inhaltlich) inkompatibel seien, ist jedoch eine Behauptung, die auf Unkenntnis beruht: Selbstverständlich kommen Änderungen der Regulatorgene durch Mutation und ggf. Rekombination zustande und natürlich werden sie im Sinn der Synthetischen Theorie durch (innere und äußere) Selektion und ggf. genetischen Drift ausgelesen und fixiert. Deshalb sprechen einige Biologen längst von der **expanded synthesis**, in der auch Evo-Devo ihren Platz hat (s. KUTSCHERA/NIKLAS 2004). Dieser Punkt hingegen scheint JUNKER entgangen zu sein.⁶

⁶ Wer z.B. das Buch von ► [Joachim Bauer](#) mit seiner Kritik an der Synthetischen Evolutionstheorie gelesen hat wird feststellen, dass Bauer fachfremd ist und von

Übrigens bemängeln Pioniere der evolutionären Entwicklungsbiologie und Systemtheorie der Evolution, wie z.B. Ludwig v. Bertalanffy und der Biologe Rupert RIEDL nicht die Synthetische Theorie der Evolution *an sich*. Der Standpunkt des "pragmatischen Reduktionismus" (RIEDL/KRALL 1994), der sich auf allgemeine Prinzipien der Molekulargenetik beschränkt, ist aus didaktischen Gründen sowie aufgrund der Komplexität der Bezugssysteme allzu oft unausweichlich. Der Zwang zum pragmatischen Reduktionismus und die Haeckelsche Tradition der *beschreibenden* Embryologie sind zwei wichtige Gründe dafür, dass die Integration der Entwicklungsbiologie in das Theoriengebäude Synthetische Theorie bis in die 1980er Jahre hinein keine wesentliche Rolle spielte. Führende Evo-Devo-Vertreter kritisieren lediglich der **"Nichts-Als-Anspruch"** einiger derer, die sich auf die Synthetische Theorie der Evolution berufen und den pragmatischen Reduktionismus in einen ontologischen Reduktionismus verwandeln.

Literatur

ARTHUR, W. (2004) Biased embryos and evolution. Cambridge, MA.

BEURTON, P.J. (1999) Was *ist* die Synthetische Theorie? In: Junker, T./Engels, E.-M. (Hg.) Die Entstehung der Synthetischen Theorie. Verhandlungen zur Geschichte und Theorie der Biologie, Bd. 2. Berlin, 79–105.

CARTOLANO, M./CASTILLO, R./EFREMOVA, N. et al. (2007) A conserved microRNA module exerts homeotic control over *Petunia hybrida* and *Antirrhinum majus* floral organ identity. Nature Genetics 39, 901–905.

Evolutionstheorie wenig Ahnung hat. Solche Autoren werden von Kreationisten gerne als "Zeugen" benannt.

HEMMINGER, H./BEYER, A. (2009) Evolutionäre Entwicklungsbiologie. Schlüssel zum kausalen Verständnis der Evolution. In: NEUKAMM, M. (Hg.), a.a.O., 134–170.

JUNKER, R. (2010a) Evolutionäre Entwicklungsbiologie.
www.wort-und-wissen.de/index2.php?artikel=artikel/a05/a05.html
 (letzter Zugr. a. 10.06.2010).

JUNKER, R. (2010b) Experten: Evo-Devo.
www.genesisnet.info/schoepfung_evolution/e41266_evo_devo.php
 (letzter Zugr. a. 10.06.2010).

JUNKER, R. (2010c) Muskelmasse: 2785 Gene für ihre Funktion.
www.genesisnet.info/index.php?News=145
 (letzter Zugr. a. 10.06.2010).

KUTSCHERA, U./NIKLAS, K. (2004) The modern theory of biological evolution: an expanded synthesis. Naturwissenschaften 91, 255–276.

MAYR, E. (1959) Where are we? Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology 24, 1–14.

MAYR, E. (2003) Die Macht des Zufalls – Teil 2.
www.netzeitung.de/wissenschaft/243544.html.

NEUKAMM, M. (2009, Hg.) Evolution im Fadenkreuz des Kreationismus. Göttingen.

RIEDL, R./KRALL, P. (1994) Die Evolutionstheorie im wissenschaftstheoretischen Wandel. In: WIESER, W. (Hg.) Die Evolution der Evolutionstheorie. Von Darwin zur DNA. Heidelberg, Berlin, Oxford, 234–266.

RIEDL, R. (2002) Riedls Kulturgeschichte der Evolutionstheorie. Die Helden, ihre Irrungen und Einsichten. Berlin.

SCHNECKENBURGER, S. (2009) Die Argumentation der Evolutionsgegner am Beispiel des Aronstabs. In: NEUKAMM, M. (Hg.), a.a.O., 250–262.

SIKORSKI, S. (2009) Die bakterielle Flagelle – Stand der Forschung zu molekularem Aufbau,

Diversität und Evolution. In: NEUKAMM, M. (Hg.), a.a.O., 262–301.

STOTZ, K. (2005) Geschichte und Positionen der evolutionären Entwicklungsbiologie. In: KROHS, U./TOEPFER, G. (Hg.) Philosophie der Biologie. Frankfurt a. M., 338–356.

VOLLMER, G. (1985) Was können wir wissen? Bd. 1: Die Natur der Erkenntnis. Stuttgart.

WEATHERBEE, S.D. et al. (2006) Interdigital webbing retention in bat wings illustrates genetic changes underlying amniote limb diversification. PNAS 103, 15103–15107.

WOODWARD, J. (2003) Making Things Happen. Oxford.

Woodward, J. (2008) Causation and Manipulability. <http://plato.stanford.edu/entries/causation-mani>

Letzter Stand: 21.06.2010