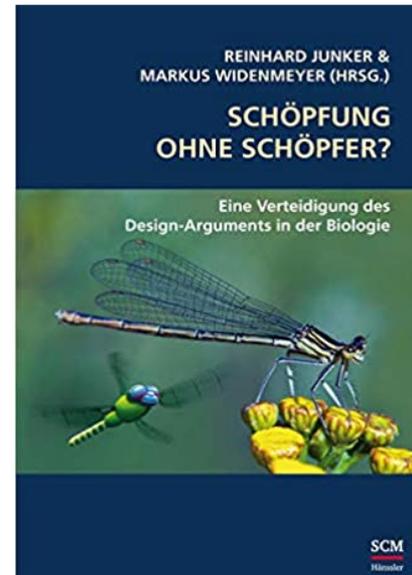


Die Kritik an evolutionären Erklärungen. Beispiel Vogelflug

Besprechung des Buchs: Schöpfung ohne Schöpfer? – Teil 4

MARTIN NEUKAMM

In Kapitel 4 (S. 83–105) thematisiert der evangelikale Autor Reinhard JUNKER den Status evolutionärer Erklärungen am Beispiel der Entstehung von Vogelfeder und Vogelflug. Dazu nimmt er eine detaillierte morphologische Beschreibung der Vogelfedern und weiterer Merkmale vor, die bei heutigen Vögeln den Flugapparat bilden. Dann formuliert er mit Blick auf die komplexen, interdependenten Strukturen „Anforderungen an eine evolutionäre Erklärung“. Schließlich stellt er fest, dass die etablierten Erklärungsmodelle zur Entstehung des Vogelflugs zu grob, vage und unrealistisch seien, um überzeugend zu sein.



Laut JUNKER fokussierten evolutive Modelle meist auf Einzelmerkmale. Die interdependente Komplexität des Flugorgans (**Synorganisation**) werde selten berücksichtigt. Das sei aber unerlässlich, weil die „einzelnen Module und Ebenen (Baumaterial bis Verhalten) ... nicht isoliert voneinander verstanden werden und nicht isoliert entstanden sein“ könnten (S. 86). Etliche Aspekte und Details müssten „über mehrere Ebenen hinweg aufeinander abgestimmt sein, damit Flugtauglichkeit gewährleistet“ sei (S. 103).

Zudem seien die adaptiven Stadien durch zu große Sprünge getrennt. Es fehlten „Detailbetrachtungen darüber, welche Änderungen von Stadium zu Stadium im Einzelnen erforderlich“ seien, „um ein neues adaptives ... Stadium“ zu erreichen (S. 99). Eine realistische evolutionsbiologische Erklärung fehle vollständig. Außerdem erlaubten die verfügbaren Daten nur eine Prüfung der *Randbedingungen*, jedoch keine Bestätigung des eigentlich zu testenden evolutiven Entstehungsmodells (S. 105).

Ferner meint der Autor, die Evolutionsbiologie sei *grundsätzlich* überfordert, alle Details zu berücksichtigen, die es zu erklären gelte (S. 103). Er unterstellt dabei nämlich, alle Abhängigkeiten in Biosystemen müssten *gleichzeitig* entstanden sein. Eine natürliche Evolution, in der es keine Zielorientierung gibt, leistet das nicht.

Was ist mit Fossilfunden, die den evolutionären Ursprung der Vögel aus der „Reptilien“-Gruppe der Hohlschwanz-Echsen (Coelurosauria) belegen? Diese,

so JUNKER, seien „zu vieldeutig“, um als entscheidender Beleg („smoking gun“) für die Evolution infrage zu kommen. Einerseits existiere keine „fein gestaffelte Abfolge“ von Übergangsformen, andererseits würden die Fossilabfolgen „nicht zu den mutmaßlichen evolutiven Abfolgen passen“ (S. 92). Die Existenz mutmaßlicher Zwischenstufen sei „kein Beleg für einen hinreichend wahrscheinlichen Mechanismus“.

Trotz „schwerwiegender Einwände“ gegen „alle evolutionären Hypothesen zur Entstehung des Vogelflugs“ werde „eine evolutive Entstehung dennoch nicht hinterfragt“. Dies sei eine „paradoxe Situation“ (S. 83). Dabei gäbe es „gute Gründe“ für eine geistig-kreative Entstehungsursache (Schöpfung): die „hochgradige funktionale Komplexität einerseits und das nachhaltige Scheitern von Hypothesen andererseits, die nur auf Naturprozesse rekurren“.

Was ist von der Argumentation zu halten?

1. Der evolutionäre Ursprung der Vögel („Makroevolution“) ist unabhängig von mechanistischen Entstehungsmodellen belegt

Die ständigen Versuche, das Erklärungsschema der Evolutionsbiologie und fossil belegte Übergangsformen zu demontieren, sind eigentlich müßig. Denn die Vögel wären auch ohne mechanistische Erklärungsmodelle und ohne Kenntnis von Zwischenformen von „reptilienartigen“ Vorfahren abzuleiten (MAHNER 1986, S. 61).

Bereits die *abgestufte* Ähnlichkeit rezenter Sauropsiden, zu der die „Reptilien“ **und** Vögel gehören, ist ein starkes Argument für ihren gemeinsamen evolutionären Ursprung. Dazu gesellt sich eine Vielzahl an Einzelbefunden. Ein Beispiel: Die Talpid-2-Mutante beim Huhn reaktiviert latente Entwicklungsprozesse, die sonst nur in „Reptilien“-Embryonen ablaufen (HARRIS et al. 2006). Die dabei gebildeten Zähne ähneln in Form und Entstehung frappierend jenen der Alligatoren, ihren nächsten lebenden Verwandten. Zudem bestätigen die Daten der Molekularbiologie konventionelle Stammbäume „in praktisch allen gut abgesicherten Fällen“ (MAIER 1994, S. 118).

Mehr noch: Anhand ermittelter Evolutionsraten lässt sich die Geschwindigkeit abschätzen, mit der bestimmte Federproteine evolvieren. Forscher entwickelten daraus eine „molekulare Uhr“ und berechneten, dass die ersten flugfähigen Vögel vor etwa 143 ± 33 Millionen Jahren entstanden (PAN et al. 2019, S. 3019). Das entspricht recht genau dem Alter der ersten passiv flugfähigen Paraves-Vertreter, wie etwa dem Urvogel *Anchiornis*, der häufig als Vorfahre von *Archaeopteryx* gehandelt wird (Abb. 1).

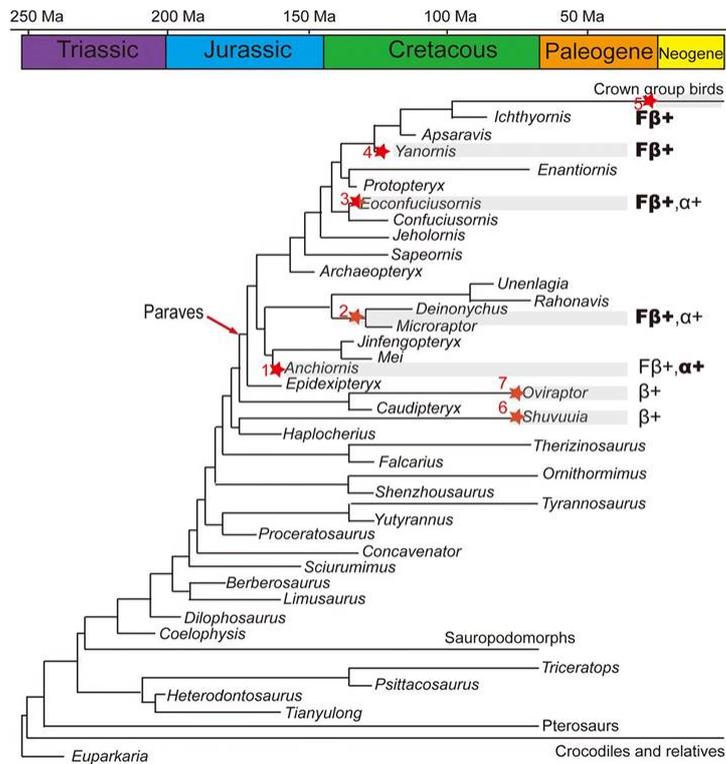


Abb. 1 Die roten Sterne markieren Coelurosaurier-Arten, deren fossile Federn auf Feder- β -Keratin ($F\beta+$), ursprünglicheres Beta-Keratin ($\beta+$) und Alpha-Keratin ($\alpha+$) untersucht wurden. Das Keratin heutiger Federn besteht fast nur noch aus $F\beta+$. Es entstand durch Verkleinerung von $\beta+$, was den Federn mehr Flexibilität verlieh. Die Wissenschaft nimmt an, dass dieses Deletions-Ereignis für die Flugfähigkeit essentiell war. Feinstruktur-Untersuchungen und Antigen-Tests belegen, dass die Federn des Urvogels *Anchiornis* bereits $F\beta+$ enthielten. Doch es überwogen noch dicke $\alpha+$ -Fasern. Unabhängig davon ließ sich mithilfe „molekularer Uhren“ berechnen, dass die Evolution des Feder-Keramins vor 143 ± 33 Millionen Jahren begann. Das Ergebnis deckt sich mit dem fossilen Alter der ersten flugfähigen Vögel wie *Anchiornis*, der vor 160 Mio. Jahren lebte. Aus PAN et al. (2019, S. 3022).

Es gibt also nicht *den* einen „entscheidenden“ Beleg, sondern viele Puzzleteile, die sich mit den übrigen Befunden zu einem **konsistenten Gesamtbild** fügen. Dies ist, um mit JUNKER zu sprechen, durchaus mehr als eine „smoking gun“; es ist eine erdrückende Belegsituation zugunsten der Vogelevolution. Es ist nämlich nicht einzusehen, warum *mehrere unabhängige Methoden und Befundklassen* zum gleichen Ergebnis führen sollten, wenn die ihnen zugrundeliegenden, evolutionären Prämissen falsch wären. Diese wechselseitige Konsistenz von Theorie und Hintergrundwissen ist ein wichtiger Wahrheitsindikator in den Naturwissenschaften (MAHNER & BUNGE 2000, S. 129).

Auch Fossile Arten wie *Velociraptor*, *Anchiornis*, *Xiaotingia*, *Archaeopteryx* usw. fügen sich konsistent in das Bild ein. Sie besaßen schon *einige* Merkmale heutiger Vögel. Zugleich wiesen sie noch „Reptilien“-Merkmale auf, die heutigen Vögeln fehlen: Sie zeigen das für große evolutionäre Linien typische Bild einer **Mosaik-Evolution**. Dabei sind die Übergänge so fließend, dass sich nicht einmal die Kreationisten einig sind, ob *Anchiornis*, *Xiaotingia* und *Archaeopteryx* vogelähnliche „Reptilien“ oder „richtige“ Vögel seien (NEUKAMM 2009, S. 121). Das unterstreicht ihren Status als evolutive Übergangsformen.

Die Frage, **wie** die Vögel evolvierten, ist also der Frage, **ob** eine „Makroevolution“ stattfand, logisch untergeordnet. Das von JUNKER behauptete Paradoxon ist daher hinfällig: Selbst, wenn belastbare Entstehungsmodelle rundweg fehlen würden, stellte dies nicht die Makroevolution *an sich* infrage.

JUNKER könnte bestenfalls zeigen, dass bestimmte Formen der Prozess-**Erklärung** unzureichend sind. Ein vernünftiges Argument gegen die **Faktizität des Prozesses** (Makroevolution) existiert hingegen nicht. Diese Tatsache wird seit Jahrzehnten

„...von allen Biologen anerkannt. Die Beantwortung der Ablaufsfrage hängt von den Materialien ab, die uns jeweils zur Verfügung stehen ... Handelt es sich um isolierte Gruppen, von denen kaum fossile Formen bekannt sind, so sind wir auf vage Hypothesen angewiesen ... Selbst wenn wir über die Ursachen gar nichts wüssten, bliebe der Sachverhalt der Evolution unangetastet.“ (REMANE et al. 1973, S. 10)

2. „Unpassende“ Fossilfunde und verbreitete Konvergenzen

Um den evolutionären Ursprung der Vögel anzuzweifeln, problematisiert JUNKER die Fossilabfolge in den Strata. Sie passe „nicht zu den mutmaßlichen evolutiven Abfolgen“, da „asymmetrische flächige und mutmaßlich flugtaugliche Federn ... bereits bei *Archaeopteryx* aus dem Oberjura bekannt“ seien. Dagegen seien fast alle „Dinosaurier-Gattungen mit einfacherer Körperbedeckung ... in jüngeren Schichten der Kreide gefunden worden“ (S. 90). Zudem spiegele sich im Fossilbefund kein „fein gestaffelter Übergang verschiedener Ausprägungen von Körperbedeckungen“ wider (S. 92).

Die bekannten Fossilien stellen jedoch **keinen repräsentativen Querschnitt** ausgestorbener Formen dar. Jeder Fund, wie die wenigen *Archaeopteryx*-Exemplare, ist ein enormer Glücksfall. Daher verbieten sich Forderungen nach „fein gestaffelten“ Übergängen ebenso wie die Erwartung, die Fossilien chronologisch säuberlich geordnet vorzufinden.

Hinzu kommt: Als in einigen Entwicklungslinien komplexe Konturfedern entstanden, starben die Dinosaurier-Gattungen mit „einfacherer Körperbedeckung“ nicht plötzlich aus! Folglich koexistierten Theropoden mit unterschiedlichen Integumenten (Federn) über Dutzende Jahrmillionen. Der evolutionäre Aspekt der **Kladogenese** (Artaufspaltung) bedingt also mit, dass sich ursprünglichere Merkmale immer wieder in jüngeren Schichten finden lassen als fortschrittlichere. Von Fossilienlücken und fortschreitenden Artaufspaltungen, welche die Chronologie der Merkmalsabfolge verzerren und die Erwartung fein abgestufter Entwicklungsreihen *ad absurdum* führen, ist bei JUNKER freilich nicht die Rede. Trotzdem entspricht „die Abfolge der Fossilien in der Zeit hinsichtlich ihrer morphologischen Änderung keiner Zufallsfolge“ (MAHNER 1986, S. 61). In der Regel

nehmen die fossilen Theropoden umso mehr die Gestalt heutiger Vögel an, je jünger sie sind. Nichts anders stellt den Kern des Evolutionsbelegs dar.

„... Cladogramme [sind] gerade im Bereich Theropoden/Urvogel mit Konvergenzen geradezu übersät... Wenn eine mehrfach unabhängige Entstehung relativ komplexer Merkmale akzeptiert wird, kann auf dieser Basis deren Verteilung im Cladogramm keine klare Orientierung in Bezug auf eine Stimmigkeit mit der Phylogenie geben.“ (S. 99)

Gewiss, zahlreiche Konvergenzen (eigentlich: **Parallelismen**) existieren. Die hierarchische Ordnung der Arten wird dadurch zwar leicht *gestört*, weswegen die exakte Stellung etlicher Verwandtschaftsgruppen (Taxa) im Stammbaum noch kontrovers diskutiert wird. Doch ist die Merkmalshierarchie keineswegs aufgehoben (THEOBALD 2004). So fügen sich die Ergebnisse moderner Merkmalsanalysen derart konsistent in ein evolutionäres Szenario, dass über die relative hierarchische Anordnung fast aller Haupttaxa im Stammbaum der Vogelvorfahren breiter Konsens herrscht (RAUHUT & FOTH 2020, S. 37).

Übrigens passen Parallelismen weit besser zu einem chaotischen Naturprozess als zu einem teleologischen Entwurf (ROKAS 2013, S. 1329; HEMMINGER 2014, S. 9ff). Ihr verbreitetes Auftreten, vor allem bei nah verwandten Arten, ist teils entwicklungs-genetisch bedingt und beruht auf „Tiefenhomologien“ (WAKE et al. 2011; HALL 2012).

3. Methodologische Aspekte zur Kritik an evolutionären Modellen

„[D]ie Frage nach dem evolutiven Umbau ... [ist] nicht beantwortet. Das Vorhandensein mutmaßlicher Zwischenstufen ist kein Beleg für einen hinreichend wahrscheinlichen Mechanismus. Aus diesen Gründen ist im Wesentlichen ungeklärt, **wie** flugtaugliche Federn allein durch zukunftsblinde Variation und Selektion und andere rein natürliche Prozesse entstanden sein konnten – und damit natürlich auch das ‚ob‘.“ (S. 91)

In der Tat liefern Variation und Selektion (allein) keine hinreichende Erklärung zur detaillierten Entstehung des Flugapparats. Das hat einen einfachen praktischen Grund: Variation und Selektion sind **allgemeine** Mechanismen. Sie erklären Evolution auf einer *prinzipiellen* Ebene. Um etwas so **Spezielles** wie den Flugapparat der Vögel erklärt zu bekommen, müssen Evolutionsbiologen aus der allgemeinen Theorie ein *spezifisches Modell* entwickeln (MAHNER & BUNGE 2000, S. 91ff).

Idealerweise würde ein solches Modell Schritt für Schritt zeigen, wie Mutationen und entwicklungsbiologische Mechanismen unter den realhistorischen Gegebenheiten die ursprünglichen „Reptilien“-Merkmale zu Vogelmerkmalen umgestalteten. Besonderes Augenmerk gilt der Frage, wie dieser Umbau die Funktionalität jedes Einzelschritts gewährleistete. Kurz: Wir müssen die allgemeine Evolutionstheorie mit **zusätzlichem**

Wissen über die strukturellen, funktionellen und entwicklungsbiologischen Details der betreffenden Arten versehen. Zudem müsste das Modell Daten über die historischen Randbedingungen, etwa jurassische Selektionsregimes, enthalten.

Das Problem ist, dass wir über dieses Wissen nicht ohne Weiteres verfügen. Historische Abläufe und Randbedingungen können wir nur bruchstückhaft und hypothetisch rekonstruieren. Verschärft wird das Problem dadurch, dass es die Biologie mit individuellen und äußerst komplexen Systemen in ungeheurer Mannigfaltigkeit zu tun hat:

„Gerade die Randbedingungen, wie z. B. ökologische Wechselbeziehungen und andere historische Umstände und Zufälle aller Art, sind dabei in jedem Einzelfall nicht nur anders, sondern auch einmalig und mithin konstitutiv für das zu betrachtende biologische System...“ (MAHNER 1986, S. 42)

Dies schließt das Arbeiten mit hochplausiblen Szenarien, die bekannte Entwicklungsmechanismen enthalten, nicht aus.¹ Zum einen aber wissen wir nie *sicher*, dass diese Mechanismen früher eine Rolle spielten. Zum anderen fällt es einem uneinsichtigen Gegner leicht, beliebig viele offene Fragen nachzuschieben: Welche *konkreten Mutationen* lösten die Entwicklungsänderung aus? Über welche adaptiven Zwischenschritte entstand das genregulatorische Netzwerk, das die Voraussetzungen dafür schuf? Woher stammen die Gene? Wie und warum änderte sich das Selektionsregime? Und so weiter.

Auch hier: Wir wissen zwar **prinzipiell**, welche Mechanismen genregulatorische Netzwerke erzeugen und differenzieren (z. B. CORDERO & HOGEWEG 2006; REBEIZ & TSIANTIS 2017). Die Analyse **konkreter** Netzwerke ist aber schwierig, insbesondere die Rekonstruktion vorangegangener Differenzierungsschritte, da von den Genomen ausgestorbener Tiere nichts übrig ist. Zudem wissen wir über die Variationsmöglichkeiten zu wenig.

Wir sehen also, dass gesicherte und zugleich hinreichende Detailerklärungen, wie sie JUNKER einfordert, nicht zu haben sind. Komplexe Naturprozesse unter Berücksichtigung aller Interdependenzen und Randbedingungen erklärt zu bekommen, ist illusorisch! Aus praktischen Gründen enthalten die Modelle nur eine überschaubare Zahl an Annahmen und Randbedingungen, erklären also nur *Teilaspekte*.

Aus diesen Gründen glaubt JUNKER, ein Argument gegen die Plausibilität evolutiver Modelle zu haben. Er übersieht, dass **praktische** Probleme der Erkenntnisgewinnung nicht auf einen Defekt der Evolutionstheorie (die Unkenntnis geeigneter Mechanismen)

¹ Ein Beispiel: OSTERAUER et al. (2010) zeigten, dass sich die Körpergestalt von Süßwasserschnecken durch Modifikation der Signalwege während ihrer Entwicklung so ändert, dass sie in ihrem Inneren Kalkschilde bilden. Da auch Tintenfische innere Kalkschilde bilden, ist die so modifizierte Süßwasserschnecke ein entwicklungsbiologisches Modell für die Entstehung innerer Schalen bei Weichtieren.

schließen lassen. Und auch, wenn die betreffenden Modelle nur einen Teil der relevanten Mechanismen enthalten, liefern sie doch die Ausgangsbasis für vollständigere Erklärungen. *Ohne* diese Basis ist **keine** Erklärung möglich, *mit* ihr existieren zumindest plausible Teilerklärungen. (Plausibel heißt, dass die Annahmen und Mechanismen empirisch sauber begründet sind und mit dem Hintergrundwissen harmonisieren.)

Der Wissenschaftstheoretiker Martin MAHNER sagt: „Was in einem historischen Kontext als mechanistische Erklärungen erreichbar ist, könnte man ‚mechanistische evolutionäre Szenarien‘ nennen“ (pers. Mitteilung). Plausible hypothetische Erklärungsansätze reichen also vollkommen, weil sie eben das sind, was wir erreichen können.

Nicht nur bei *historischen* Rekonstruktionen müssen wir uns mit vereinfachten, hypothetischen Erklärungsansätzen begnügen. Auch Modelle zur Beschreibung komplexer Entwicklungen der Gegenwart, etwa des Klimawandels, enthalten idealisierte Annahmen (MITTELSTAEDT & VOLLMER 2000, S. 210). Die Realitätsnähe der Prämissen ist dabei nicht immer hundertprozentig gegeben: Man denke an ideale Populationen oder ideale Gase. Obwohl es sie nicht gibt, sind sie Ausgangspunkt für realistischere Modelle.

Naturprozesse sind komplexe Systemprozesse. Wir entwirren nur einzelne Fäden des undurchschaubaren Knäuels an Wechselwirkungen und Randbedingungen. Daher findet JUNKER immer einen formalen Grund, um evolutionäre Erklärungen nicht akzeptieren zu müssen. Konsequenterweise müsste er mit ihnen fast alle Modelle der übrigen Naturwissenschaften zurückweisen – und erst recht seine Schöpferthese.

4. „Makroevolution“ durch Intelligent Design (ID)?

„Die ausgeprägte Synorganisation der Federstruktur samt Follikel, Federmuskeln, Sinnesorganen in der Haut ist ein klares Schöpfungsindiz. Denn es müssen viele Aspekte und Details über mehrere Ebenen hinweg aufeinander abgestimmt sein, damit Flugtauglichkeit gewährleistet ist. Die bekannten natürlichen Mechanismen sind mit der dafür erforderlichen Koordination überfordert.“ (S. 102f)

Wie erörtert, kann dieses Argument zwar nicht die „Makroevolution“ infrage stellen. Erzwingt es zur Erklärung derselben wenigstens die Berücksichtigung eines Planers (ID)?

Zunächst: Hochgradig funktional Komplexes *kann* den Verdacht auf ID lenken. Doch um den Verdacht zu erhärten, braucht es **Hintergrundwissen**, das den Artefaktcharakter von Lebewesen stützen würde. Im Gegensatz zu *technischen* Objekten ist Design bei evolutionsfähigen Lebewesen nämlich alles andere als offensichtlich. Daher führt der Design-Schluss nur über den Umweg eines ausgearbeiteten Modells:

„Um den Design-Ansatz glaubhaft zu machen, benötigt man neben Hintergrundwissen über die Absichten des Designers genau wie die Evolutionstheorie spezifische mechanische Erklärungen als konkrete Modelle, die zeigen, welcher Designer auf welche Weise irreduzibel komplexe Organe geplant und ins Leben gerufen hat.“ (MAHNER 2018, S. 122)

Eine alternative Erklärung, die mindestens so viel erklärt wie etablierte Evolutionsmodelle, kann JUNKER nicht anbieten, weil es sie nicht gibt. Der hypothetische Designer ist ein so obskures wie unerforschliches Gedankenprodukt. Es gelingt ID daher nicht, über den „Beweis“ des ersten Anscheins (funktionale Komplexität) hinaus glaubhaft zu zeigen, dass in der Natur planerische Elemente existieren.

Dazu kommt, dass ID **omniexplanatorisch** ist. Das heißt, die Erklärung ist so unspezifisch, dass sich mit ID buchstäblich *alles* „erklären“ lässt. In den Wissenschaften sind aber nur *spezifische* (mechanismische) Erklärungen von Wert. *Nur sie* ermöglichen uns ein Verständnis der Vorgänge sowie eine Überprüfung des postulierten Entstehungsprozesses. Mangels Spezifität hat ID keinen höheren Erklärungswert als Magie.

Die These, natürliche Mechanismen seien überfordert, hochgradig funktional komplexe Systeme hervorzubringen, überzeugt ebenfalls nicht. Solche Systeme schließen allenfalls *bestimmte* Evolutionswege aus, doch es lassen sich problemlos alternative Wege formulieren (DRAPER 2002). **Das ist der Grund, weshalb JUNKER hinsichtlich der Evolution von Zellorganellen einen Rückzug antrat:** Ursprünglich glaubte er, das „nichtreduzierbar komplex“ erscheinende System wirke „als Design-Signal“.² Heute sieht er sich gezwungen einzuräumen, dass sich die Datenlage „hin zu einer schrittweisen Entwicklung von Endosymbionten zu Organellen“ verschob (JUNKER & SCHERER 2013, S. 199).

Wenn das keine Widerlegung der Pauschalbehauptung ist, Evolutionsmodelle, „die nur auf Naturprozesse rekurren“, würden *nachhaltig* an der Erklärung der Entstehung von hochgradig funktional Komplexem scheitern, was ist es dann?

Nicht nur dieses Beispiel, die Geschichte der Naturwissenschaften *insgesamt* zeigt, dass sie es schon

„zu oft mit einem ‚Lückenbüßer-Supranaturalismus‘ zu tun [hatte]. Es bleibt uns daher in den Realwissenschaften nichts anderes übrig, als mit dem schwachen Naturalismus zu beginnen und ihn auszuschöpfen.“ (MAHNER 2003, S. 139)

² Siehe: www.ag-evolutionsbiologie.net/html/2020/evolution-design-argument-biologie.html

5. Problem der Synorganisation: unzählige Passungen *gleichzeitig*?

Sehen wir uns im Folgenden an, wie JUNKER das „Problem der Synorganisation“ am Beispiel der Entstehung der Flugfähigkeit der Vögel abhandelt:

„Federn alleine ermöglichen ... bei Weitem nicht die Flugfähigkeit. Neben geeignetem Federmaterial und zweckmäßigem Feinbau ist auch eine passende Verankerung der Federn in der Haut unabdingbar, ebenso ein komplexes Geflecht von Federmuskulatur, Nervensträngen und Sinnesorganen für die Bewegung der Federn. Außerdem muss insgesamt ein funktionsfähiges Federkleid ausgebildet sein, vielfältige Steuerungsmechanismen und Koordination der Flugbewegungen, vielfältige Details des Baus des Vogelkörpers und anspruchsvolle Verhaltensweisen mit entsprechender Datenverarbeitung im Gehirn. Die Aufgaben, die Flugfedern erfüllen müssen, stellen besondere Anforderungen an den Aufbau ... Zunächst ist geeignetes Baumaterial erforderlich. Dieses besteht aus langen Fasern eines speziellen Proteins, dem β -Keratin, ... Das Keratin muss in Federschaft, -asten und -strahlen auf eine ganz bestimmte Weise ‚verbaut‘ sein, damit die Federn ihre besonderen Eigenschaften aufweisen, sodass sie zugleich robust, leicht, biegsam, knickfest und drehbar sind.“ (S. 84)

„Aus diesen Gründen weisen viele Forscher auf den Aspekt der Synorganisation hin. Die einzelnen Module und Ebenen (Baumaterial bis Verhalten) können nicht isoliert voneinander verstanden werden und auch nicht isoliert entstanden sein. In Summe haben wir mit dem Federkleid eine Gesamtorganisation vor uns, die insgesamt bezüglich der Flugfähigkeit nichtreduzierbar komplex scheint und ein klares Design-Indiz darstellt.“ (S. 86)

Merkmale aufzulisten, mit denen ein *moderner* Vogel seinen *hochgradig perfektionierten* Schlagflug ausführt, ist das eine. Zu behaupten, sie alle seien für einen rudimentären Flug unentbehrlich und hätten nicht isoliert voneinander entstehen können, das andere. **Der Bruch in JUNKERS Argumentation besteht darin, dass er nicht zeigen kann, dass aus ersterem letzteres folgt.** Er hat nur in dem eingeschränkten und banalen Sinne Recht, dass es für einen Flug gewisse Anforderungen braucht.



Abb. 2: Lebendrekonstruktion von *Anchiornis huxleyi*.
Image: ZHAO CHUANG. Courtesy of PNSO.

Betrachten wir den vogelähnlichen Dinosaurier *Anchiornis* (Abb. 2). Er besaß zwar schon einige der genannten Merkmale, doch ihm fehlten etliche Komponenten: Die Federn bestanden zu einem hohen Anteil aus α -Keratin (PAN et al. 2019), weswegen ihnen die „besonderen“ biomechanischen Eigenschaften heutiger Federn (Flexibilität, Elastizität, Festigkeit) nicht zukamen. Auch ihr Feinbau wich

deutlich von dem scheinbar präzise „abgestimmten“ Bau moderner Federn ab. Hinweise auf die Existenz geschlossener Federfahnen fehlen (SAITTA et al. 2017, S. 276). Zudem

besaß *Anchiornis*, verglichen mit modernen Vögeln, deutlich kürzere Schwungfedern im Verhältnis zur Länge des Oberarmknochens (HEERS 2016, S. 430). Die Federn waren symmetrisch, die Primär- und Sekundärfedern schmal und schwach, die verdeckten Federn noch nicht in Traktaten angeordnet (LONGRICH et al. 2012, S. 2266, Fig. 4). Die längsten Flügel Federn befanden sich am Handgelenk, was den Flügel an der Spitze zu einem wenig flugangepassten Profil verjüngte, usw. Kurzum: **Nichts an diesem „Reptil“ war erkennbar auf das Fliegen zugeschnitten.**³ **Trotzdem verhalfen ihm seine primitiven Flügelstrukturen unter günstigen Windbedingungen schon zu einem leidlichen, passiven Gleit- oder Fallschirmflug** (SHAHID et al. 2019).

Auf der anderen Seite sehen wir immer klarer, dass sich unzählige Charakteristika der Vögel bereits lange **vor** dem Auftreten der Vögel entwickelten. Es handelte sich, wie Fachleute sagen, um günstige *Präadaptationen* (Voranpassungen). Auch sie beweisen, dass die Vogelmerkmale nicht simultan ins Rampenlicht der Erdgeschichte traten, sondern isoliert entstanden und *allmählich* die Voraussetzungen für das Fliegen schufen.

Um einige Beispiele zu nennen (vgl. BRUSATTE, O'CONNOR & JARVIS 2015):

- Die evolutionären Wurzeln der luftgefüllten Hohlknochen der Vögel mit Verbindung zu den großen Luftsäcken und der Lunge – wichtige Merkmale für die Flugfähigkeit – lassen sich *bis zu den frühen Dinosauriern* zurückverfolgen!
- Die langen Beine der Vögel und ihre drei dünnen Hauptzehen entstanden erstmals vor mehr als 230 Millionen Jahren. Dies ging mit der Umgestaltung des „Reptilien“-Körpers in aufrecht gehende Theropoden einher.
- Bereits mehr als 100 Mio. Jahre vor dem Erscheinen der Vögel bahnte sich allmählich eine rasante Zunahme der Stoffwechsel- und Wachstumsraten sowie die Entwicklung der typischen „Durchflusslungen“ an, mit der die Vögel heute ihren hohen Energiebedarf decken. Auch dies eine günstige Voranpassung, die mit dem Fliegen ursprünglich nicht das Geringste zu tun hatte.
- Schon 50 Mio. Jahre vor dem Auftreten der Vögel verwuchsen die paarigen Schlüsselbeine zum Gabelbein. Vermutlich stabilisierten die wolfsgroßen Raptores damit den Schultergürtel beim Zerreißen ihrer Beute. Bei ihren fliegenden Nachfahren hilft die Neuerung, beim Flügelschlag Energie einzusparen.

³ Wie moderne Vogelflügel so wiesen auch die Vordergliedmaßen von *Anchiornis* bereits Hautmembrane (Patagia) auf. Allerdings bildeten die schmalen Hautlappen keine echte Spannhaut. Sie waren gerade breit genug, um die Flügelkanten abzurunden. Falls diese suboptimale „Brückenkonstruktion“ wider Erwarten aerodynamisch bedeutsam gewesen sein sollte, zeigt das einmal mehr, dass die Urvögel keine präzise auf Fliegen abgestimmten Federkleider und Flügelprofile benötigten. Es gibt potenziell viele Behelfslösungen wie Hautlappen, versteifte Deckfedern usw., um (semi-) stabile Tragflächen zu erhalten.

- Dass es, wie JUNKER betont, sowohl fürs Gleitfliegen als auch für den aktiven Schlagflug „Steuerungsmechanismen und Koordination der Flugbewegungen“, geeignete Körperproportionen und vieles weitere braucht, ist richtig. Doch auch diese Fähigkeiten begannen sich lange vor den Vögeln zu entwickeln.

Die im Vergleich zu den großen Dinosauriern winzigen Körpermaße der Vögel und ihr hoch entwickeltes Gehirn, welches sie zu komplexer Kognition befähigt, entwickelten sich Zug um Zug bei den Maniraptoren. Dem wendigen *Velociraptor* verhalfen die hohen kognitiven Fähigkeiten zu einer koordinierten Jagd. Entsprechend absurd ist es anzunehmen, dass

„... ein noch sehr rudimentärer Gleitflug Kontrollmechanismen benötigen [sollte], die über das hinausgehen, was bereits im Verhaltensrepertoire der [hochintelligenten] Theropoden angelegt ist ... Menschen sind keine Flieger, stammen aber von baumbewohnenden Primaten ab: Sie können problemlos lernen, mit Gleitschirmen und Drachen umzugehen, ohne dass dafür neue Hirnstrukturen nötig wären. Nichts spricht gegen eine Entwicklung von sprungfähigen Baumbewohnern zu Gleitfliegern und, über weitere funktionale Stufen, zum aktiven Flug.“ (HEMMINGER 2018)

Mit anderen Worten: Das kreationistische Narrativ, wonach wesentliche Charakteristika der Vögel weder isoliert voneinander verstanden werden noch isoliert entstanden sein könnten, bildet weder evolutionäre Prozesse realistisch ab, noch korrespondiert es mit dem Fossilienbefund.

6. Evolution durch Wechsel von Selektionsregimes

Argumenten, wie den zuvor genannten, begegnet JUNKER mit der Behauptung, es sei

„... unklar, wie die Funktionalität der Organismen *als Ganze* bei jedem Schritt gewährleistet sein kann, geschweige denn, worin jeweils ein selektiver Vorteil besteht.“ (S. 91)

Welchen Vorteil sie auch gehabt haben mögen – Fakt ist, dass ein Großteil der essenziellen Charakteristika flugfähiger Vögel bereits bei Dinosauriern existierte! Wenn also die Vogelmerkmale ursprünglich andere Funktionen erfüllten, mussten im Lauf der Evolution die Selektionsregimes gewechselt haben. Nun entgegnet JUNKER (2018), eine „Selektion auf die Erstfunktion“ sei „einer Weiterentwicklung Richtung Flugtauglichkeit abträglich“. Belegen kann er seine Behauptung freilich nicht.

Betrachten wir exemplarisch die faserartigen Integumente (Protofedern) ursprünglicher Theropoden: Ihre isolierenden Eigenschaften schützen vor Wärmeverlust. Weitere Differenzierungsschritte in radiär-symmetrische Strukturen, die an Daunenfedern

erinnern, verbessern zweifellos diese Funktion. Inzwischen weiß man, dass die Feder-schäfte häufig auch Pigmente einlagerten, sodass die Federn *zusätzlich* der Balz, der Tarnung oder der Feindabwehr dienlich gewesen sein könnten (KAPLAN 2010).

Von da aus führt ein weiterer Differenzierungsschritt zu *flächigen*, bilateral-symmetrische Federn (s. Abb. 3). Da sie prächtige Gefieder bilden können, entfalten sie eine größere Signalwirkung als radiär-symmetrische Federn, verstärken also eventuelle Vorteile bei der Balz. Die Entwicklung von Federstrahlen wiederum stabilisiert die planare Struktur (FOTH 2009, S. 147). Die anschließende Differenzierung in Haken- und Bogenstrahlen führt schließlich zur *geschlossenen* Fahne (Konturfeder), die neben den erwähnten Primär- und Sekundärfunktionen auch wasserabweisend ist. Flugunfähige Oviraptoren nutzten ihre Armfedern zum Bedecken des Brutgeleges, wie Fossilfunde zeigen.

Gänzlich unvermittelt schuf die Konturfeder die Voraussetzung für einen weiteren Effekt: Biomechanische Untersuchungen zeigen, dass selbst flugunfähige Tiere mit Konturfedern einen deutlichen **dynamischen Auftrieb** erzeugen können. Mit ihrer Hilfe lassen sich Hindernisse und kurze Distanzen gleitend oder flatternd überwinden. Zudem ermöglicht der Auftrieb ein schnelleres, wendigeres Laufen. Je nach Gewicht und Verhältnis von Bein- zu Flügelänge kann der Auftrieb bis zu 100 Prozent des Körpergewichts betragen (HEERS 2016). Körpergröße, Bein-Flügel-Koordination, Muskelkapazität, Flügelänge und das Verhalten können so sukzessive an die Erfordernisse eines immer ausdauernderen Gleit- oder Schlagflugs angepasst worden sein (HEERS et al. 2018).⁴

Wir sehen also, dass durch Optimierung, im Zusammenspiel mit zunehmender Differenzierung der Integument-Strukturen, nach und nach *weitere* Eigenschaften zur ursprünglichen hinzutreten. Diese **Multifunktionalität** gewährleistet, dass die Strukturen beim Wechsel oder bei der Ausweitung der Selektionsregimes nicht an Funktionalität einbüßen (VOLLMER 1986, S. 25). In der Gesamtheit entstanden so nach und nach die Voraussetzungen für den Vogelflug.

Freilich lässt sich JUNKER von der Erörterung solcher Zusammenhänge kaum beeindrucken. Der Grund ist, dass er als „realistische“ Erklärung bestenfalls *streng gradualistische* Szenarien gelten lässt. So wird die Forderung der „**Kleinschrittigkeit und Selektierbarkeit**“ (S. 96) an alle hypothetischen evolutionären Stadien gestellt.

⁴ Naturgemäß profitieren eher kleine Tiere vom dynamischen Auftrieb. Dies legt nahe, dass bei größeren Spezies (etwa *Velociraptor*) zunächst nur die juvenilen Tiere ihre Flügelleistung optimierten. Auf diese Weise könnte der Selektionsdruck für eine höhere Flügelleistung zugleich die Pädomorphy samt geringer Körpergröße begünstigt haben (LEE et al., 2014; HEERS et al. 2018). Dies würde auch die geradezu rasanten Größenabnahme innerhalb der Gruppe der Maniraptoren erklären.

7. Darwinistisch-gradualistische Forderung: Kontinuität und Selektierbarkeit

„Eine genauere Analyse der einzelnen Modelle ... zeigt jedoch, dass die Kleinschrittigkeit vielfach nicht gegeben ist und dass es unklar ist, wie die bekannten Evolutionsmechanismen die erforderlichen Schritte bewältigen konnten.“ (S. 99)

Erörtern wir JUNKERS Argument am Beispiel der Federevolution: Nach PRUM (1999) entstand die Feder über eine begrenzte Anzahl (etwa fünf bis acht) Zwischenstufen. Die Annahme beruht auf embryologischen Studien zur Differenzierung des Bildungsgewebes im Federfollikel. Basierend auf den verschiedenen Differenzierungsgraden der einzelnen Federtypen wurde das in Abb. 3 skizzierte Modell entwickelt.

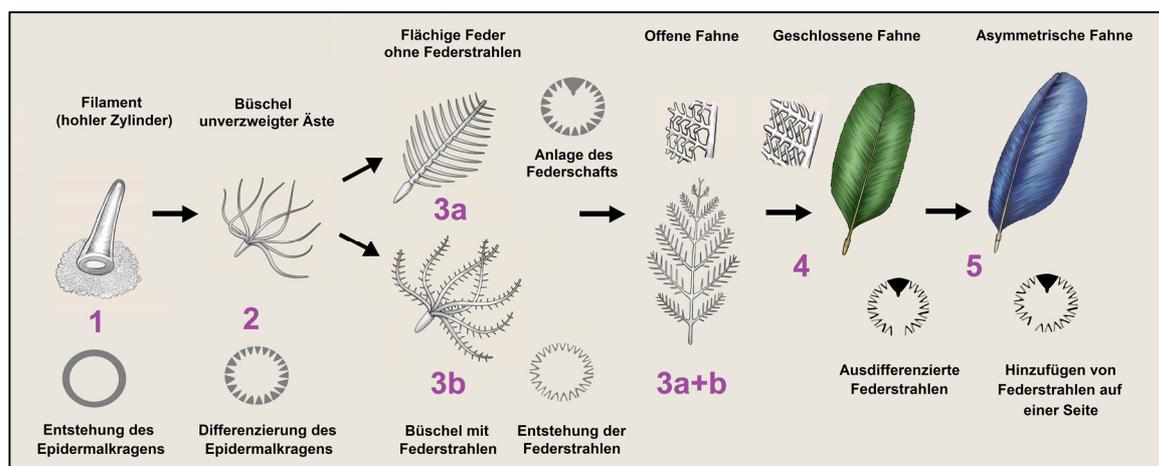


Abb. 3 Entstehung der Feder nach PRUM (1999). In Schritt 1 entsteht durch lokales Einstülpen der Epidermis der Federfollikel. Die Feder entsteht am Grund des Follikels durch stetige Teilung von Keratin bildenden Zellen. Die Bildungszone formt einen Ringwulst (Epidermalkragen), aus dem sich die älteren Zellen aus der Haut schieben. Diese Federn sind einfache Hohlzylinder. Schritt 2: Das innere Bildungsgewebe differenziert zu radiär-symmetrischen Astanlagen; es entsteht ein Bündel aus unverzweigten Filamenten. Schritt 3a: Durch Bildung und Verschmelzung weiterer Astanlagen an der Basis entsteht der Federschaft und eine bilateral-symmetrische, offene Federfahne. Schritt 3b: An den Ästen bilden sich einfache Strahlen; dies entspricht morphologisch einer Nestlingsdaune. Dann bildet sich eine Konturfeder mit Schaft, Ästen, Strahlen und offener Fahne. In Schritt 4 differenzieren sich die Strahlen in Haken und Bogenstrahlen; es bildet sich eine geschlossene Fahne. Im 5. Schritt entstand die asymmetrische Feder. Im 5. Schritt entstand die asymmetrische Feder. Grafik von James Paul BAELO, zusammengestellt nach SUES (2001), PRUM & BRUSH (2003) und PERRICHOT et al. (2008).

Der Knackpunkt: Lange galt die Feder als *exklusive Neuheit* der Vögel. Als im Jahr 1996 bei dem Nicht-Vogel-Theropoden *Sinosauropteryx* Anzeichen von Federn entdeckt wurden, glich dies einer Sensation. Trotzdem blieb die morphologische Kluft zwischen den Integument-Strukturen auf der Haut einzelner Saurier und den Federn moderner Vögel frustrierend groß. In den letzten 20 Jahren wandelte sich das Bild: Nach und nach wurden alle von PRUMS evolutionär-entwicklungsbiologischem Modell vorhergesagten Federsubtypen in Bernstein entdeckt (s. Abb. 4). Eine Zwischenform intermitiert sogar zwischen den Stadien 2 und 3a (s. Abb. 5; PERRICHOT et al. 2008).

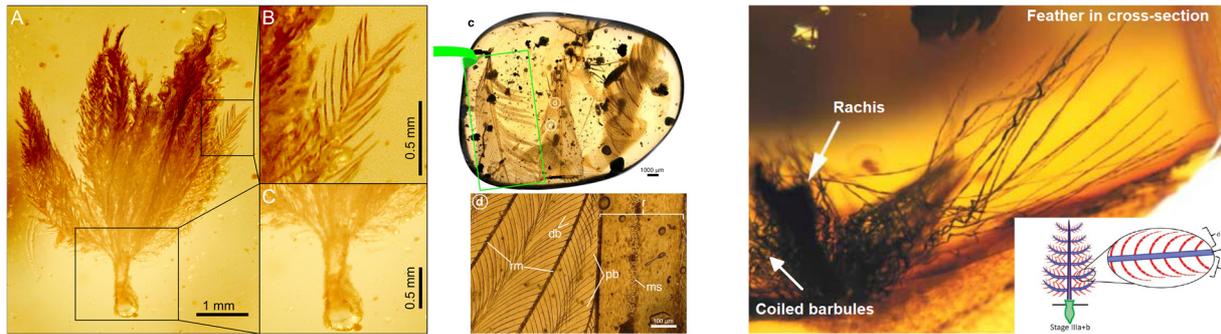


Abb. 4 Fossile Federn in Bernstein. Die Morphologie des Exemplars links stimmt mit Stadium 3b des weithin akzeptierten Modells von PRUM überein (aus: [ROY et al. 2020](#), "Figure 1", CC BY-NC 4.0). Das mittige Foto zeigt eine Feder im Stadium 3a (aus: [CARROLL et al. 2019](#), "Figure 2", CC BY 4.0). Rechts: Feder im Stadium 3a+b (aus: [McKellar et al. 2011](#), Beschriftung und Zeichnung eingefügt, Abdruck mit freundlicher Genehmigung).

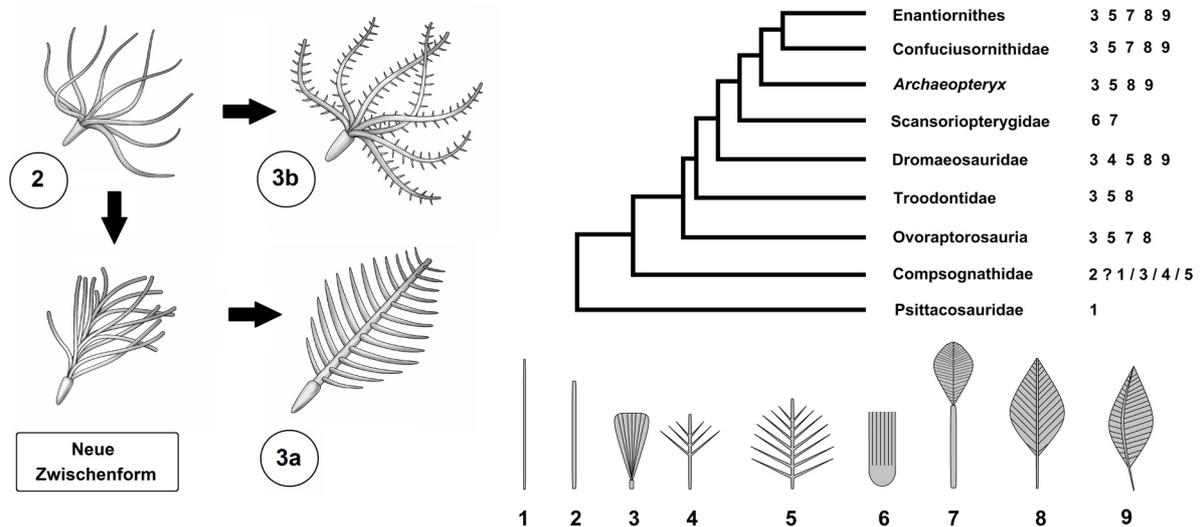


Abb. 5 Links: Eine weitere in Bernstein konservierte Zwischenform der Feder. Hier sind mehrere Äste lose am Schaft verbunden, der aus noch unvollständig verwachsenen sekundären Ästen besteht. Die abgeflachte, bilateral-symmetrische Form moderner Federn deutet sich bereits an. Das Stadium intermittiert zwischen Schritt 2 und Schritt 3a in PRUMs Modell. Zeichnung von James Paul BAELLO, nach [PERRICHOT et al. \(2008, S. 1200\)](#). Rechts: Federtypen, die mit Theropoden-Skeletten assoziiert sind. Nach [XU et al. \(2010, S. 1340\)](#), eigenes Werk.

Die Feder-Zwischenformen sind also mehr als nur hypothetische Konstrukte, hergeleitet aus entwicklungs-genetischen Differenzierungsprozessen. Es gab sie tatsächlich. [ROY et al. \(2020\)](#) sehen darin einen direkten Beleg dafür, dass die vielfältigen Integument-Strukturen bereits vor 170 Mio. Jahren, bei vogelähnlichen Dinosauriern und Urvögeln, in den Entwicklungsmöglichkeiten eines Federfollikels lagen.

Das Argument, dass sich die Vorhersagen von PRUMs Modell bestätigt haben, wird indes mit der anachronistischen Forderung nach einem **Formenkontinuum** gekontert:

„Mit fünf bis acht Stadien sind alle Modelle viel zu grob, um eine evolutionäre Entstehung realistisch modellieren zu können.“ (S. 90)

„Die Abfolge evolutionärer Schritte muss kontinuierlich und graduell sein, ohne größere Sprünge. Diese Forderung folgt aus der Tatsache, dass nur kleinschrittige Veränderungen durch Mutation und Selektion die Chance auf ein Überleben haben; bei größeren zufälligen Änderungen muss mit schweren, meist sogar tödlichen Störungen des Organismus gerechnet werden.“ (S. 88)

JUNKER übersieht, dass die Evolutionstheorie längst über das darwinistisch-gradualistische Denken hinausgelangt ist (s. etwa LORENZEN 1988; MOSBRUGGER 1989; OSTERAUER et al. 2010). Denn genetische Änderungen können ontogenetisch durchaus kleinere bis mittlere Sprünge hervorrufen. Oft lassen die Entwicklungsgesetze keine kleinschrittigen Veränderungen zu, zumindest keine, die JUNKER akzeptieren würde.

Dass die Forderung nach kontinuierlichen Übergängen keine zeitgemäße ist, zeigen auch die Differenzierungsprozesse des Bildungsgewebes im Federfollikel. Diese werden durch Signalproteine wie BMP, Noggin, Shh und andere gesteuert (s. Abb. 6).

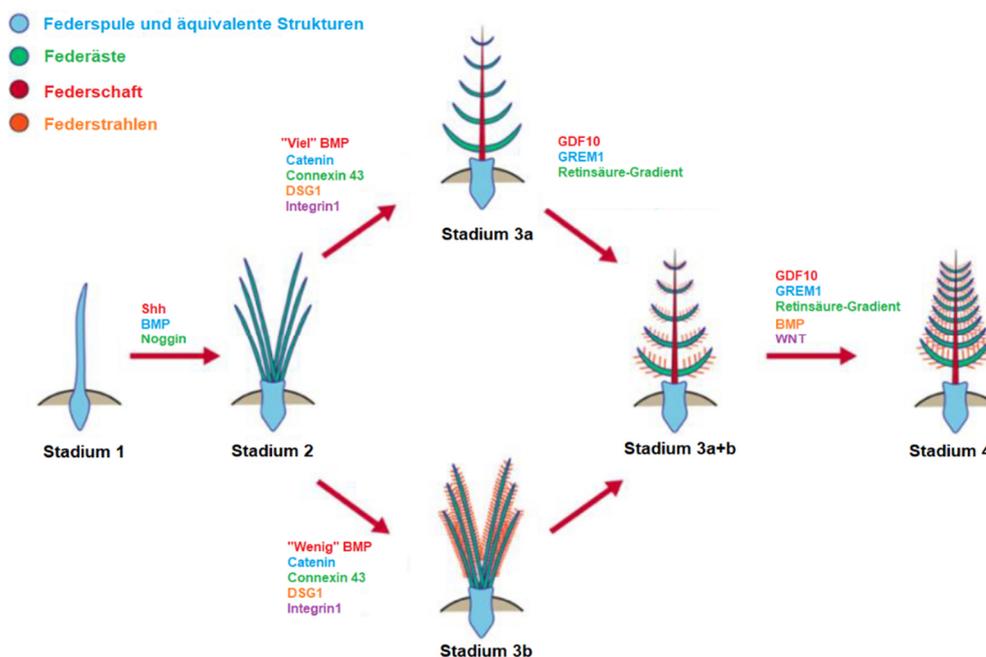


Abb. 6 An der Ausprägung von Federn können eine Vielzahl von Signalproteinen beteiligt sein. Variationen der Signalproteine und Konzentrationsverhältnisse erzeugen unterschiedliche Feder-Strukturen. Die Übergänge erfolgen sprunghaft, nicht kontinuierlich. Aus ROY et al. 2020, "Figure 2. Prum and Brush model of feather morphogenesis and evolution", Text ins Deutsche übersetzt, CC BY-NC 4.0.

Durch Variation der Signalproteine in Zusammensetzung und Konzentration lässt sich eine Fülle an Federsubtypen und Kombinationen verschiedener Federmodule erzeugen. Übersteigt beispielsweise die BMP-Konzentration einen bestimmten Schwellenwert, wird

aus einem Büschel aus unverzweigten Filamenten durch helikale Verschiebung der Federäste eine flächige Feder mit offener Fahne (Abb. 6). Es treten also diskrete „Sprünge“ auf, *nicht* kontinuierliche Übergänge, wie JUNKER es gerne hätte.⁵ Auch die Forderung nach durchgehender „Selektierbarkeit“ (S. 96) ist obsolet. Modifikationen *ohne Selektionswert*, selbst schwach **nachteilige** Mutationen, können sich in Populationen per Drift durchsetzen oder lange Zeit als Allel existieren. Dadurch werden sie oft zum Ausgangspunkt weiterer Evolutionsschritte. Ein Beispiel diskutiert SIKORSKI (2009, S. 289).

JUNKERS beharrliches Festhalten am „Kleinschrittigen und Selektierbaren“ korrespondiert also längst nicht mehr mit der Forschung. Die Forderung ist ein Strohmännchen, um die Plausibilität der Evolutionstheorie kleinzureden.

8. Zusammenfassung

JUNKERS Einlassungen zur Evolution überzeugen aus einer Vielzahl von Gründen die Fachwelt nicht. Erstens könnte er bestenfalls zeigen, dass die Erklärungen der Evolutionsbiologie nicht hinreichend sind. Vernünftige Argumente gegen die stammesgeschichtliche Entwicklung der Lebewesen („Makroevolution“) aber hat er nicht.

Zweitens kann das Fehlen hinreichender „naturalistischer“ Erklärungen kein Einfallstor für *irrationale* Erklärungen wie ID sein. Zum einen kann ID nicht glaubhaft zeigen, dass in der Natur Planung existiert. Zum anderen übergeht JUNKER geflissentlich das „Problem des Omniexplanatorischen“ in seiner Design-Erklärung: ID ist so unspezifisch, jede Annahme über sein Wirken so willkürlich, dass es buchstäblich alles und daher gar nichts erklärt. Erkenntnistheoretisch hat es denselben Stellenwert wie Magie oder eine Entelechie. Die Wissenschaft muss erst das Reservoir natürlicher Erklärungen ausschöpfen, bevor sie transnaturale Erweiterungen auch nur in Betracht ziehen kann.

Drittens übersieht JUNKER, dass das Fehlen ausreichend konkreter, hinreichender Erklärungen *wissenschaftsinhärente* Gründe hat: Wissenschaftler können nur einzelne Aspekte komplexer Naturprozesse rekonstruieren, nie die Gesamtheit der Wechselwirkungen und Randbedingungen. Was wir im historischen Kontext (und nicht nur dort) als mechanistische Erklärung erreichen können, sind plausible hypothetische (Teil-) Szenarien.

⁵ JUNKER räumt zwar ein, „eine programmierte Situation“ (*sic!*) würde als Ausnahme doch Sprünge erlauben (S. 88, Fuß. 6). Allerdings handelt es sich bei der „programmierten Situation“ um eine metaphysische Idee, „die nur im kreationistischen Weltbild Sinn ergibt“ (Thomas JUNKER 2009, S. 335). Außerhalb dieses Weltbildes wäre es absurd anzunehmen, dass sich nicht auch „Makroevolution“ solcher Sprünge bedienen sollte. Wenig überraschend gelingt ihm nur der Verweis auf kreationistische Autoren (BORGER, CROMPTON).

rien, nicht mehr. Daher findet JUNKER immer einen formalen Grund, evolutionäre Erklärungen nicht akzeptieren zu müssen. Konsequenterweise müsste er dann auch die Modelle der übrigen Wissenschaften zurückweisen – und erst recht seine Schöpferthese.

Viertens zeichnet JUNKER ein krasses Zerrbild von der Evolution. Die Behauptung, wesentliche Charakteristika der Vögel könnten nicht isoliert entstanden sein, ist weder funktionsmorphologisch noch entwicklungs geschichtlich haltbar. Auch seine Forderung nach durchgehend kleinschrittigen und selektierbaren Zwischenformen erweist sich als antiquiert. Offensichtlich ist das Beharren auf streng „gradualistische“ Szenarien ein Mittel, um die Plausibilität der Evolutionstheorie kleinzureden.

9. Literatur

- BRUSATTE, S.L.; O'Connor, J.K. & Jarvis, E.D. (2015) The origin and diversification of birds. *Current Biology* 25, R888–R898. DOI: 10.1016/j.cub.2015.08.003.
- CARROLL, N.R.; CHIAPPE, L.M. & BOTTJER, D.J. (2019) Mid-Cretaceous amber inclusions reveal morphogenesis of extinct rachis-dominated. *Scientific reports* 9, 18108.
- CORDERO, O.X. & HOGEWEG, P. (2006) Feed-Forward loop circuits as a side effect of genome evolution. *Molecular Biology and Evolution* 23, S. 1931–1936.
- DRAPER, P. (2002) Irreducible Complexity and Darwinian Gradualism. A reply to Michael J. Behe. *Faith and Philosophy* 22, S. 3–21.
- FOTH, C. (2009) Die Morphologie des Erstlingsgefieders ausgewählter Vogeltaxa unter Berücksichtigung der Phylogenie. <https://tinyurl.com/27p4fryc>.
- HALL, B.K. (2012) Parallelism, deep homology, and evo-devo. *Evolution & Development* 14, S. 29–33.
- HARRIS, M.P. et al. (2006) The development of Archosaurian first-generation teeth in a chicken mutant. *Current Biology* 16, S. 371–377.
- HEERS, A.M. (2016) New perspectives on the ontogeny and evolution of avian locomotion. *Integrative and Comparative Biology* 56, S. 428–441.
- HEERS, A.M.; RANKIN, J.W. & HUTCHINSON, J.R. (2018) Building a bird: musculoskeletal modeling and simulation of wing-assisted incline running during avian ontogeny. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. DOI: 10.3389/fbioe.2018.00140.
- HEMMINGER, H. (2014) Die Rippenquallen und der Stammbaum des Tierreichs. <https://www.ag-evolutionsbiologie.net/pdf/2014/rippenquallen.pdf>.
- HEMMINGER, H. (2018) Vogelfeder und Vogelflug durch die Brille des Kreationismus. <https://www.ag-evolutionsbiologie.net/html/2018/vogelfeder-vogelflug-w+w.html>.
- JUNKER, R. (2018) Vogelfedern und Vogelflug. *SIJ* 25, S. 76–83.
- JUNKER, R. & SCHERER, S. (2013) *Evolution. Ein kritisches Lehrbuch*, 7. Auflage. Gießen.
- JUNKER, Thomas (2009) Kreationisten erklären die Evolution. In: NEUKAMM, M. (Hg.) *Evolution im Fadenkreuz des Kreationismus*. Göttingen, S. 321–338.
- KAPLAN, M. (2010) Fossil feathers reveal dinosaurs' true colours. DOI: 10.1038/news.2010.39.
- LEE, M.S.; CAU, A.; NAISH, D. & DYKE, G.J. (2014). Sustained miniaturization and anatomical innovation in the dinosaurian ancestors of birds. *Science* 345, S. 562–566.
- LONGRICH, N.R.; VINTHER, J.; MENG, Q. et al. (2012) Primitive wing feather arrangement in *Archaeopteryx lithographica* and *Anchiornis huxleyi*. *Current Biology* 22, S. 2262–2267.
- LORENZEN, S. (1988) Die Bedeutung synergetischer Modelle für das Verständnis der Makroevolution. *Eclogae Geologicae Helvetiae* 81, S. 927-933
- MAHNER, M. (1986) *Kreationismus. Inhalt und Struktur antievolutionistischer Argumentation*. Berlin.
- MAHNER, M. & BUNGE, M. (2000) *Philosophische Grundlagen der Biologie*. Berlin.
- MAHNER, M. (2003) Naturalismus und Wissenschaft. *Skeptiker* 16, S. 137–139.

- MAHNER, M. (2018) Naturalismus. Die Metaphysik der Wissenschaft. Aschaffenburg.
- MAIER, U.G. (1994) Die molekulare Dimension der biologischen Evolutionstheorie. In: WIESER, W. (Hg.) Die Evolution der Evolutionstheorie. Heidelberg, S. 109–128.
- MCKELLAR, R. C., CHATTERTON, B. D. E., WOLFE, A. P., et al. (2011). A diverse assemblage of late cretaceous dinosaur and bird feathers from Canadian amber. *Science* 333, S. 1619–1622.
- MITTELSTAEDT, P. & VOLLMER, G. (2000) Was sind und warum gelten Naturgesetze? *Philosophia naturalis* Bd. 37, Heft 2. Frankfurt.
- MOSBRUGGER, V. (1989) Gibt es sprunghafte Evolution? Formen und Mechanismen der transspezifischen Evolution bei Pflanzen. *Biologie in unserer Zeit* 19, S. 1-8.
- NEUKAMM, M. (Hg., 2009) Evolution im Fadenkreuz des Kreationismus. Kap. 5: Die Rekonstruktion der Stammesgeschichte. Göttingen.
- OSTERAUER, R.; MARSCHNER, L.; BETZ, O. et al. (2010) Turning snails into slugs: induced body plan changes and formation of an internal shell. *Evolution & Development* 12, S. 474–483.
- PAN, Y.; ZHENG, W.; SAWYER, R.H. et al. (2019) The molecular evolution of feathers with direct evidence from fossils. *PNAS* 116, S. 3018–3023.
- PERRICHOT, V.; MARION, L.; NÉRAUDEAU, D.; VULLO, R. & TAFFOREAU, P. (2008) The early evolution of feathers: fossil evidence from Cretaceous amber of France. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 275, S. 1197–1202.
- PRUM, R.O. (1999) Development and evolutionary origin of feathers. *Journal of Experimental Zoology* 285, S. 291–306.
- PRUM, R. O., & BRUSH, A. H. (2003). Which came first, the feather or the bird? *Scientific American*, 288, 84–93.
- RAUHUT, O.W.M. & FOTH, C. (2020) The origin of birds: current consensus, controversy, and the origin of feathers. In: dies. (Hg.) The evolution of feathers. From their origin to the present. Cham.
- REBEIZ, M. & TSIANTIS, M. (2017) Enhancer evolution and the origin of morphological novelty. *Current opinion in genetics & development* 45, S. 115–123.
- REMANE, A.; STORCH, V. & WELSCH, U. (1973) Evolution. Tatsachen und Probleme der Abstammungslehre. München.
- ROKAS, A. (2013) My oldest sister is a sea walnut? *Science* 342, S. 1327–1329.
- ROY, A.; MILLER, C.V.; PITTMAN, M.; KAYE, T.G. & PERETTI, A. (2020) Three-dimensionally preserved 'Stage IIIb' fossil down feather supports developmental modularity in feather evolution. DOI: 10.1101/2020.08.26.268060.
- SAITTA, E.T.; GELERNTER, R. & VINTHER, J. (2017) Additional information on the primitive contour and wing feathering of paravian dinosaurs. *Palaeontology* 61, S. 273–288.
- SHAHID, F.; ZHAO, J. & GODEFROIT, P. (2019) Aerodynamics from cursorial running to aerial gliding for avian flight evolution. *Applied Sciences* 9, 649.
- SIKORSKI, J. (2009) Die bakterielle Flagelle. Stand der Forschung zu molekularem Aufbau, Diversität und Evolution. In: NEUKAMM, M. (Hg.), S. 262–301.
- SUES, H.-D. (2001). *Palaeontology: ruffling feathers*. *Nature* 410, S. 1036–1037.
- THEOBALD, D. (2004) 29+ evidences for macroevolution. Part 1: The unique universal phylogenetic tree. www.talkorigins.org/faqs/comdesc/section1.html. Zugr. A. 07.11.2021.
- VOLLMER, G. (1986) Was können wir wissen? Bd. 2: Die Erkenntnis der Natur. Stuttgart.
- WAKE, D.B.; WAKE, M.H. & SPECHT, C.D. (2011) Homoplasy: from detecting pattern to determining process and mechanism of evolution. *Science* 331, S. 1032–1035.
- XU, X.; ZHENG, X. & YOU, H. (2010) Exceptional dinosaur fossils show ontogenetic development of early feathers. *Nature* 464, S. 1338–1341.