

M. Neukamm, U. Kutschera (2006):

Zwischenformen und Modellsysteme der Evolutionsbiologie

Ein Kommentar zum Beitrag "*Der Schlammpringer - ein Beweis für Macroevolution in Progress?*"

In einem Internet-Artikel (www.weloennig.de/Schlammpringer.pdf) geht der Intelligent-Design-Kreationist W.-E. Lönnig auf U. Kutscheras Nature-Beitrag zum Thema Schlammpringer und Makroevolution ein (Nature 439, 534, 2006). In diesem Text wird irrtümlich oder vorsätzlich davon ausgegangen, es würden Schlammpringer „*als Übergangsformen zu den Amphibien*“ angesehen. Dies ist jedoch nicht korrekt. Im Nature-Beitrag steht das Folgende geschrieben: "...*They are living model organisms for the study of a key event in the history of life*". Schlammpringer sind mit anderen Worten *Modellsysteme*, die in einer Jahrmillionen langen *konvergenten* Entwicklung amphibische Merkmale hervorgebracht haben (die Originalliteratur zu diesem makroevolutionären Prozess kann bei U. Kutschera eingesehen werden). Der Übergang Wasser/Land kann an diesen amphibischen Grundeln *modellmäßig* untersucht werden, ohne dass aus einem Schlammpringer jemals ein Amphibium entstehen wird (Details in Kutschera 2006).

Im Folgenden wollen wir die evolutionskritischen Einwände in Lönnigs Text besprechen, dabei der Frage nachgehen, inwieweit Schlammpringer als Modellorganismen der Evolutionsbiologie und evolutionären Entwicklungsbiologie (EvoDevo) angesehen werden können und kurz auf das Thema „Übergangsformen“ eingehen. Abschließend soll die Frage erörtert werden, ob die Lehre vom „Intelligent Design“ eine wissenschaftliche Alternative zur Evolutionstheorie sein kann.

Der Schlammpringer als Modellorganismus der Evolutionsbiologie

Wie oben bereits angedeutet wurde, ist Lönnigs Feststellung, "*Schlammpringer sind so wenig Übergangsformen zu den Amphibien wie die fliegenden Fische Übergangsformen zu den Vögeln sind*", völlig richtig, hat aber mit den Grundaussagen des Nature-Artikels nichts zu tun. Natürlich stehen die Schlammpringer und die rezenten Amphibien in keinem Vorfahren-Nachfahren-Verhältnis, und die Schlammpringer stehen den Amphibien phylogenetisch auch nicht so nahe, wie etwa die Lungenfische, Quastenflosser oder z.B. *Acanthostega* (eine fossile Mosaikform, die als naher Verwandter der rezenten Amphibien gesehen wird). Der Schlammpringer modelliert daher nicht das Szenario, das vor rund 400 Mio. Jahren herrschte, als die ersten Tetrapoden ihre Gehversuche an Land machten. Der Paläontologe T. Gaßner¹ bemerkt jedoch hierzu:

*„Als Modell funktioniert das Tier dennoch - und in der Verneinung dieser Tatsache irrt Lönnig. Der Schlammpringer zeigt sehr eindrucksvoll, dass neue Habitate besiedelt werden können, indem für ein Problem neue Lösungen gefunden werden. Der veränderte Kiemenapparat des Schlammpringers ist quasi eine Ersatzlunge. Es handelt sich um ein Atemorgan, mit dem atmosphärische Luft verwertet werden kann. Zudem werden Strukturen genutzt, die offensichtlich während des Wasserlebens der Vorfahren genutzt wurden - genau wie die Lungen bereits bei den Urtetrapoden vorhanden waren, die aber noch im Wasser gelebt haben (siehe *Ichthyostega*, *Acanthostega*...)“*

¹ [Thomas Gaßner](#) ist Paläontologe am Naturkundemuseum an der Humboldt-Universität zu Berlin sowie ein ausgewiesener Experte der phylogenetischen Systematik. Er hat die Replik von Lönnig kritisch begutachtet und die AG Evolutionsbiologie mit hilfreichen Kommentaren sowie die vorliegende Arbeit mit Korrekturvorschlägen unterstützt. Alle erwähnten Zitate von Thomas Gaßner beruhen auf persönlichen Mitteilungen (*pers. comm.*).

Mit anderen Worten: „Der Schlammpringer zeigt ganz einfach eindrucksvoll, dass Lungen keine Notwendigkeit sind, und dass es sicher viele Wege gibt, das Land zu besiedeln (...) Bei den meisten Actinopterygiern finden wir das Lungen-Schwimmblassenorgan als reine Schwimmblaste ausgebildet. Diese wurde dann bei Bodenbewohnern wie z.B. den Welsen vollständig reduziert. Welse nehmen je nach Wasserqualität jedoch atmosphärische Luft auf und veratmen sie. Dies geschieht jedoch nicht über den Oesophagus - die entsprechenden Zellen sind ja verschwunden - sondern über den Enddarm. Also ist auch hier eine Lösung für das Problem Sauerstoffknappheit aus einer ähnlichen Struktur entstanden...“

Sehr überzeugt ist auch Lönnigs Idee, wonach Organismen in für sie **ungeeigneten** Lebensräumen leben und sich **erst dann** an die Gegebenheiten anpassen sollen. Er schreibt:

„Mit anderen Worten mussten die Schlammpringer von vornherein für die amphibische Lebensweise geschaffen sein, sonst hätten sie ‚out of water‘ nicht überlebt. Prof. Thure von Uexküll von der Universität Heidelberg bemerkt zum Anpassungsbegriff der Evolutionstheoretiker (...): ‚Hinter der Art und Weise, wie der Begriff ‚Anpassung‘...verwendet wird, steckt eine Philosophie, die von der Annahme ausgeht, die Lebewesen hätten sich zu Beginn in einer Welt befunden, für die sie nicht ausgerüstet waren und an die sie sich erst im Laufe einer unendlich langen Entwicklungsgeschichte hätten anpassen müssen. Nach dieser Vorstellung wären schließlich alle Leistungen und Reaktionen lebender Wesen durch Anpassung entstanden. Denkt man diese Vorstellung konsequent zu Ende, dann hätten die Lebewesen der ersten Zeiten noch nicht über Reaktionen verfügt, die in irgendeiner Weise sinnvolle Antworten auf die Außenwelt bedeuteten.‘ Es ist aber außerordentlich unwahrscheinlich, dass Tiere, Pflanzen oder auch Einzeller in einer Umgebung, mit der sie nicht das Geringste anfangen können, am Leben bleiben und Zeit haben, Anpassungsleistungen zu vollziehen. Ein Fisch, der aufs Land gerät, paßt sich der neuen Umgebung nicht an, sondern geht zugrunde (...)‘ Wäre es hingegen für Fische, die nicht für eine amphibische Lebensweise geschaffen sind, einfach, ‚durch Anpassung‘ auch an Land zu überleben, dann müssten von den 22 000 Fischarten, die Systematiker heute unterscheiden, Tausende von Arten [oder fast alle, die schon einmal die Bekanntschaft mit dem Land gemacht haben] in der Lage sein, auch an der ‚frischen Luft‘ zurechtzukommen (Zeiten und Gelegenheiten sollten sie ja zur Anpassung nach der Evolutionstheorie genug gehabt haben). Jeder Aquaristenfreund kann sich da vom Gegenteil überzeugen: Hat er Fische, die nicht von vornherein über die Fähigkeiten zur amphibischen Lebensweise verfügen, dann hat er keine Chance sie - gleich den Schlammpringern - an eine solche zu gewöhnen.“

Was, so ist man geneigt zu fragen, haben solche Kommentare noch mit dem Thema („Schlammpringer als Modellsysteme“) zu tun? Inwiefern harmonisieren solche antiquierten Vorstellungen über den Modus der evolutionären Anpassung überhaupt mit den Postulaten der modernen Evolutionsbiologie? **Natürlich sind die Organismen von vornherein in einer Umwelt, für die sie geeignet sind!** Kein „Fisch“ wird in einer unpassenden ökologischen Nische überleben – es sei denn, er verfügt von vorne herein über ein hierfür geeignetes Spektrum an Reaktionsnormen oder über eine passende genetische Prädisposition. *Der Konkurrenzdruck um Ressourcen erleichtert es aber einigen Individuen, ihre Lebensumstände zu verbessern (Nischenerweiterung), wenn sie bisher unbeschrittene Pfade beschreiten können. Genau das passiert ja bei Mutationen!*

DIES GILT SOWOHL FÜR DIE LUNGEN, ALS AUCH FÜR DIE TETRAPODEN-EXTREMITÄTEN! So zeigen Mosaikformen, wie z.B. *Acanthostega*, dass der Besitz von Tetrapodenmerkmalen (z.B. in randlich marinen Bereichen) auch bei aquatischer Lebensweise einen Überlebensvorteil bietet, und „zusätzlich Atemorgane um an atmosphärischen Sauerstoff zu kommen finden wir ja auch bei Labyrinthfischen. Diese kann man dann – neben den Schlammpringern - auch als **Modellorganismus** ansehen, wenn es um die Möglichkeit geht, sich [z.B. bei Sauerstoffarmut]

atmosphärischen Sauerstoff nutzbar zu machen. Streng genommen sind auch das Fische, die ‚in der Mitte‘ stehen, wenn diese Formulierung beim Schlammpringer gelten darf“ (Gaßner, pers. comm.). Dies alles macht nur noch einmal deutlich, dass die Wege und Entwicklungsmöglichkeiten vielfältig sind, um einem Kiemenatmer - *trotz Anpassung an eine aquatische Lebensweise* – neue Habitate zu erschließen. Die Entstehung einer durchbluteten Ausstülpung im Oesophagus (die sich später zu Lungen erweitert hat) ist dabei nur **eine** Möglichkeit unter vielen, die zeigt, wie Kiemenatmer nützliche Adaptionen entwickeln können, um zunächst wenigstens *kurzzeitig* an Land existieren zu können.

Unter diesem Gesichtspunkt ist die Meinung, ein Schwertträger oder Guppy müsse „über volle Kompensationsleistungen für das Überleben an eine neue Umwelt“ verfügen bzw. diese aus Sicht der Evolutionsbiologie überhaupt erst an Land erwerben, eine grobe Verdrehung evolutionsbiologischer Zusammenhänge. Erstens machen die Amphibien als Angehörige der Gruppe der Sarcopterygier deutlich, dass es keineswegs der „vollen Kompensationsleistungen“ der Amnioten (Säugetiere und Sauropsiden) für ein Leben an Land bedarf. Und zweitens ist es unter entwicklungsstrukturalistischen Gesichtspunkten völlig trivial, dass evolutive Neuheiten zunächst immer *präadaptiv* sind. Das heißt, die Anpassungsfähigkeit und die Fähigkeit zum Selbsterhalt muss schon gegeben sein, bevor überhaupt eine natürliche Auslese stattfinden kann (Bertalanffy, 1970). Folglich werden durch die in der Ontogenese herrschenden „Formbildungsgesetze“ mutative Veränderungen im Hinblick auf die Lebensfähigkeit des Organismus bereits vorselektiert, noch ehe sich die Organismen in ihrer Umwelt bewähren müssen (WUKETITS, 1988). Oder wie Gould (1982, S. 16) schreibt:

"Organisms are not billiard balls, propelled by simple and measurable external factors to predictable new positions on life's pool table. Sufficiently complex systems have greater richness. Organisms have a history that constrains their future in myriad, subtle ways (...) Their complexity of form entails a host of functions incidental to whatever pressure of natural selection superintended the initial construction."

Goulds Ausführungen verdeutlichen, dass Uexkülls Kritik am „adaptationistischen Programm“ (genauer: *an der Ansicht, alle Merkmale seien adaptiv*) berechtigt ist, und leider wird die Evolution auch heute noch allzu oft auf die Verschiebung von Allelfrequenzen bzw. auf die **Umweltselektion** als einzig richtender Faktor der Evolution reduziert. Lönnigs Einwand ist jedoch insofern ein Strohmann-Argument, als er sich gar nicht erst der Mühe unterzieht, zwischen dem „adaptationistischen Programm“ und den modernen Entwicklungen der Evolutionsbiologie zu differenzieren; er gebraucht Uexkülls Ausführungen einfach als generelles Argument gegen den „Anpassungsbegriff der Evolutionstheoretiker [sic!]“ und setzt „die Evolutionstheorie“ mit der „neodarwinistischen Evolutionslehre [sic!]“ gleich.

Diese Art der problematischen Handhabung von Zitaten hat bei Lönnig offenbar System, **zahlreiche ähnlich gelagerte Fälle wurden hierzu bereits dokumentiert** (s. Neukamm und Beyer 2005, S. 14-18). In diesem Beispiel fällt natürlich völlig unter den Tisch, dass Uexkülls Kritik zahlreiche Vertreter der Evolutionstheorie (wie z.B. Bertalanffy, Riedl, Gould, Wuketits, Mahner und Bunge u.v.a. Vertreter einer erweiterten Theorie der Evolution) ebenfalls zum Ausdruck gebracht haben, ohne darin einen ernstzunehmenden Einwand gegen den Sachverhalt der Evolution zu sehen. Offenbar soll Lönnigs Demontage des eigens von ihm errichteten Pappkameraden vergessen machen, dass sich die Evolutionsbiologie längst über den „Adaptationismus“, wie er etwa in dem Beitrag von Gould und Lewontin (1979) kritisiert worden ist, hinausentwickelt hat.

Entgegen Lönnigs Auffassung sind übrigens auch die **Lungenfische** geeignete Organismen, die als Modell für die Entwicklung bestimmter Merkmale dienen können. Einerseits sind Lungenfische,

Eusthenopteron, *Panderichthys*, *Ichthyostega*, *Acanthostega* etc. als paraphyletische Gruppe zu der Kronengruppe der Tetrapoden im Kladogramm angeordnet. Hierüber lässt sich natürlich modellhaft zeigen, in welcher Reihenfolge Choanen, Extremitäten, Schädelknochen etc. entwickelt wurden (Gaßner, pers. comm.). Andererseits lässt sich, wie Gaßner weiter bemerkt, der Weg der Evolution der Lunge auch ontogenetisch rekonstruieren:

„Die Lungen bilden sich aus einer Ausstülpung des Oesophagus. Das lässt sich ontogenetisch nachweisen. Aus dieser Ausstülpung bildet sich ein Sack, der über eine Röhre mit dem Oesophagus weiterhin verbunden ist. Zur Schwimmblase ist es nur ein weiterer Schritt: Die Verbindung wird aufgelöst. Auch dies ist ontogenetisch beobachtbar. Interessant ist, dass dies auch der Gang der Evolution gewesen sein dürfte. Eine andere plausible Erklärung gibt es meines Wissens zur Zeit nicht. Man stelle sich folgendes Szenario vor: Ein randlich mariner Bereich, der in regelmäßigen Abständen durch Sauerstoffknappheit gekennzeichnet ist, wird von verschiedenen Fischen bewohnt. Unter diesen Fischen gibt es nun eine Mutante, die immer wieder einmal Luft schluckt. Der Sauerstoff in diesem Happen Luft wird durch den durchbluteten Bereich des oberen Oesophagus aufgenommen. Bei der nächsten Hitzewelle, bei der der Sauerstoffgehalt des Oberflächenwassers knapp wird, hat diese Mutante klare Überlebensvorteile und wird ihre genetische Variation erfolgreicher als andere Fische an die nächsten Generationen weitergeben. In der Folge werden die atmungsaktiven Bereiche vergrößert, was zu einer Ausstülpung führt. Schließlich entsteht ein Sack, der mit dem Oesophagus verbunden ist. Zugleich mit der Atemfunktion ist auch ein Balanceorgan entstanden, das es Fischen ermöglicht, je nach Füllstand des Lungen-Schwimmblasenorgans in unterschiedlichen Wassertiefen zu schweben. Bei manchen Actinopterygiern (Polypteriformes) sind die Lungen in ihrer Atemfunktion ausgebildet. Die Polypteriden sind eine basale Gruppe innerhalb der Actinopterygier. Somit scheint die Lunge das ursprüngliche Organ zu sein. Bei den meisten Actinopterygiern finden wir das Lungen-Schwimmblasenorgan als reine Schwimmblase ausgebildet. Diese wurde dann bei Bodenbewohnern wie z.B. den Welsen vollständig reduziert.“

Lönnig irrt daher, wenn er behauptet: *„Selbst nach der Auffassung der heutigen Evolutionstheorie zeigt der Lungenfisch nicht, daß sich aus Kiemenatmern Lungenatmer entwickeln können‘ (Ch.F.). Die Dipnoi können den Weg deswegen nicht zeigen, weil bereits die ersten Wirbeltiere über beide Systeme, Kiemen und Lungen, verfügten!“* Vor allen Dingen zeigt sich hier nach Gaßners Auffassung, *„...dass Lönnig selbst nichts von der Stammesgeschichte verstanden hat. Ansonsten würde er nicht schreiben, dass alle Wirbeltiere ursprünglich Lungen und Kiemen besaßen [und leider irrt offenbar auch Gould in dieser Frage, auf den Lönnig seine Meinung stützt]. Der Besitz von Lungen und Kiemen ist ein gemeinsames abgeleitetes Merkmal der Osteognathostomata. Dazu gehören alle Fleischflosser und alle Strahlflosser. Da die Grundeln, und somit auch Periophthalmus, Strahlflosser sind, hatte irgendwann ihr Vorfahr beide Organe besessen. Innerhalb der Strahlflosser sind die Lungen in Schwimmblasen umgewandelt worden. (Achtung, in manchen Lexika steht das umgekehrt. Es gibt aber kein logisches Szenario, nach dem ein luftgefüllter Sack plötzlich einen Zugang zum Oesophagus bekommen sollte“* (Gaßner, pers. comm.; Einschub von M.N.).

Die ersten Wirbeltiere (wie z.B. die Agnatha und Knorpelfische) besitzen und besaßen also definitiv **keine** Lungen; erstmals bei den *Neognathostomata* lassen sich Lungen nachweisen, die jedoch bei den Strahlflossern zur Schwimmblase abgewandelt wurden. Aufgrund ihrer Stellung im phylogenetischen System sind somit auch Lungenfische geeignete Mosaikformen, die modellhaft zeigen, wie und in welcher Reihenfolge die Merkmale der Tetrapoden entstanden sind.

Ein Wort zur Kritik am Begriff „Übergangsform“

Kutschera sieht in seinem Nature-Artikel Schlammpringer nicht nur als Modellorganismen, sondern stellt darüber hinaus fest, sie seien aufgrund ihrer amphibischen Merkmale "*living intermediate forms that display a number of anatomical and physiological macromodifications of their fishlike bodyplan*", auch wenn die rezenten Schlammpringer und die ersten Amphibien in keinem Vorfahren-Nachfahren-Verhältnis stehen.

Nun lässt sich über die Frage, inwieweit Schlammpringer tatsächlich „*Makromodifikationen*“ zeigen und ob es adäquat ist, von „*Macroevolution in progress*“ zu sprechen, sicher vortrefflich streiten. Auch die Begriffe „Übergangsform“ und „Zwischenform“ werden in der Kladistik kritisch beurteilt.² Dies gilt umso mehr, als es sich bei der hierarchischen Kategorie der „Fische“ um keine einheitliche Abstammungsgruppe, sondern um eine willkürlich gewählte (*paraphyletische*) Versammlung unterschiedlichster Taxa handelt und daher in der Kladistik als Taxon zu verwerfen ist. Weder Kutschera noch Lönnig haben die Frage beantwortet, wie ein „ordentlicher Fisch“ eigentlich auszusehen hat, so dass es schon aus diesem Grund müßig ist, Lönnigs Frage nach dem Übergang „zu den Amphibien“ halbwegs sinnvoll einzuordnen. Nichtsdestotrotz wird der Begriff „Übergangsform“ oder „connecting link“ auch heute noch in der Evolutionsbiologie benutzt, sofern damit (fossile) **Mosaikformen** gemeint sind, die anhand ihrer Stellung im phylogenetischen System die Abfolge der Entstehung evolutiver Neuheiten zu rekonstruieren erlauben.

Auffallend ist, dass Evolutionsgegner mit dem Begriff „Übergangsform“ („Zwischenform“ oder „connecting link“) etwas völlig anderes zu verbinden scheinen. Dies wird rasch deutlich, wenn man Lönnigs Kommentare zu dieser Frage liest. Er bemerkt hierzu: „*Da (...) der Schlammpringer keine Lungen entwickelt, ist er ein denkbar ungünstiges Beispiel, um zu zeigen, wie aus Fischen Amphibien wurden. Auch bilden seine Brust- und Bauchflossen keine Übergänge zur Gliederung der Tetrapodenextremitäten. Dazu kommen zahlreiche spezialisierte Merkmale, wie Teleskopaugen, Haut mit Hornschicht, Körperform etc., die den Schlammpringer für eine Weiterentwicklung zu Amphibien nachdrücklich in Frage stellen.*“

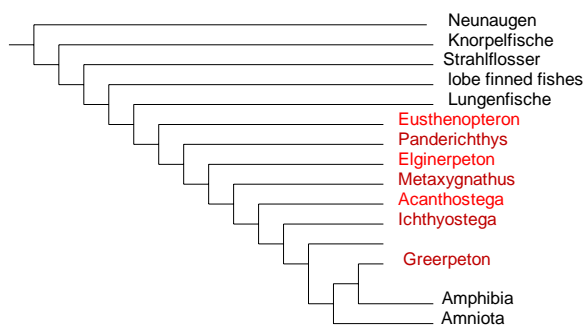


Abb. 1: Das Phylogramm zeigt die Abstammungsverhältnisse innerhalb der Gruppe der Wirbeltiere (Vertebrata). Die Taxa sind konsequent ineinandergeschachtelt (schwarz: rezente Mosaikformen, rot: fossile Formen).³

Die ausschließliche Rede von „Übergängen“ und der „Weiterentwicklung zu den Amphibien“ legen nahe, dass Lönnig die Grundlagen der modernen phylogenetischen Systematik nicht verstanden

² Thomas Gaßner schreibt hierzu: „Diese Begriffe müssen in der phylogenetischen Systematik ersatzlos gestrichen werden, da hier die wahrscheinlichen Verwandtschaftsverhältnisse exakt benannt und zur Diskussion gestellt werden. Es gibt nur Schwestergruppenverhältnisse (...) Das, was bisher als Übergangsform bezeichnet wurde, bildet nun eine eigene monophyletische Abzweigung als Schwestergruppe zu der (nächsten) Kronengruppe.“

³ Die Schwester-Gruppenverhältnisse ergeben sich daraus wie folgt: Vertebraten (Neunaugen / Gnathostomata); Gnathostomata (Knorpelfische / Neognathostomata); Neognathostomata (Strahlflosser bzw. Actinopterygier / Fleischflosser bzw. Sarcopterygier); Sarcopterygier (Lungenfische / Tetrapoden); Tetrapoden (Amphibien / Amniota).

hat. Denn wie schon betont wurde, bilden die „Fische“ keine monophyletische Gruppe, sondern vereinigen diverse Taxa, die sich aufgrund der **abgestuften Formähnlichkeit** ihrer Vertreter ineinanderschachteln bzw. in ein System feinverästelter Verzweigungen (Kladogramm) übersetzen lassen. Wie oben beschrieben sind z.B. die Knorpelfische, Strahlflosser, Lungenfische, *Eusthenopteron*, *Panderichthys*, *Ichthyostega*, *Acanthostega* etc. als paraphyletische Gruppe zu der Kronengruppe der Tetrapoden im Kladogramm angeordnet, die als Mosaikformen die Reihenfolge der Entstehung evolutiver Neuheiten in der Stammesgeschichte **modellhaft** dokumentieren (Abb. 1). Mit einem Wort: Da alle Taxa konsequent ineinander geschachtelt sind (jede monophyletische Abzweigung bildet die Schwestergruppe zur nächsten Kronengruppe), erfolgt ein Übergang „*keinesfalls in der phylogenetischen Systematik, da alle Tetrapoden zugleich Sarcopterygier sind. Alle Sarcopterygier sind außerdem Bestandteil des übergeordneten Taxon Osteognathostomata usw. usf.*“ (Gaßner, pers. comm.) Die Amphibien bilden, ebenso wie die Lungenfische, eben nur eine weitere Gruppe innerhalb der Sarcopterygier (Fleischflosser), und salopp formuliert haben auch die Säugetiere ihre Lungen und Fleischflossen mit an Land genommen (phylogenetisch gesehen zählt auch Homo sapiens zur Gruppe der Fleischflosser).

Wenn also die Amphibien, „Reptilien“ und Säugetiere vergleichend-morphologisch zur Gruppe der Fleischflosser (Sarcopterygier) zu rechnen sind, wo sollen dann nach Lönnigs Vorstellung konkret die „Umwandlungen“ vom „Fisch“ hin zu „den Amphibien“ erfolgt sein, und wie sollen diese „Übergänge“ überhaupt aussehen? ⁴

Nach Ansicht der Evolutionsgegner dürfe eine „evolutionäre Umwandlung“ zumindest nicht über „spezielle Merkmale“ führen, denn – so heißt es bei Lönnig: „...mit den ganz einzigartigen Strukturen und Verhaltensweisen von *Periophthalmus* wäre ‚die‘ Evolution in eine Sackgasse geraten, denn die Lebensweise hat den Preis sehr spezialisierter Merkmale, welche zumeist einer weiteren Entwicklung im Wege stehen würden (*Heterobathmien*). Die evolutionäre Entstehung der spezifischen *Periophthalmus*-Merkmale selbst ist zur Zeit ungeklärt. Man könnte sagen: Der Schlammpringer steht in der ‚Mitte‘, man weiß nicht wie er dort hingekommen ist und man kann auch nicht beobachten, wie er sich nach ‚rechts‘ (*Richtung Amphibium*) bewegt“.

Aus Sicht der modernen Evolutionsbiologie ist jedoch das Auftreten von ursprünglichen und abgeleiteten Merkmalen (**Heterobathmie**) völlig trivial. Die Entstehung neuer Arten erfolgt ja nicht nur durch *anagenetische Transformation*, sondern auch durch **Artspaltung**, die gerade den Mosaikmodus der Evolution bzw. das Auftreten der Heterobathmien und Konvergenzbildungen mitbedingt (Mahner 1986). Mit anderen Worten: Die Tatsache, dass die Strahlflosser (wie der Schlammpringer) nach ihrer Abspaltung von den übrigen *Neognathostomata* ihren „eigenen Weg“ gingen, einige ursprüngliche Merkmale (wie z.B. die Lungen) reduzierten (bzw. zu Schwimmblasen

⁴ So stehen etwa die Lungenfische (als Schwestergruppe der Tetrapoden) den Amphibien phylogenetisch näher, als beispielsweise den Knorpelfischen, so dass man fragen darf, ob es Sinn macht, in Anlehnung an die *traditionelle* Linnaeische Systematik Knorpel- und Lungenfische zur selben Kategorie (zur Klasse der „Fische“) zu rechnen, gleichwohl aber die Amphibien in eine vermeintlich von den Fischen wesensmäßig verschiedene „Großgruppe“ zu stellen. Nach Gaßners Auffassung ist Lönnigs „Absatz über die Einordnung von *Periophthalmus* (...) vollkommen irrelevant. Natürlich ist der Schlammpringer eine Grundel und wird auch immer eine Grundel sein. Diese Pseudowissenschaft innerhalb der linnaeischen Systematik - ist das nun eine Überfamilie, eine Familie oder sogar eine Unterordnung? - ist vollkommen fruchtlos und hat keinen wissenschaftlichen Nährwert. Es interessieren doch die Verwandtschaftsverhältnisse. Durch den Drang in der linnaeischen Systematik, alles einer Kategorie zuzuordnen, werden falsche Verwandtschaftsverhältnisse vorgespiegelt. Ein einfaches Beispiel sind die Vögel und Krokodile. Nach der phylogenetischen Systematik sind Krokodile und Vögel nächstverwandte monophyletische Gruppen (...). Damit stehen sie als Schwestergruppen in dem System der rezenten Organismen da. In der linnaeischen Systematik sind die Vögel einer eigenen Klasse eingeteilt, die Krokodile sind als Ordnung (Überordnung? Unterklasse?) der Klasse Reptilien zugeordnet. Das impliziert, dass die Krokodile mehr mit einer Eidechse gemein haben als mit einem Vogel. Bei einer genauen Untersuchung der Merkmale erkennen wir aber sofort, dass die Krokodile mehr gemeinsam abgeleitete Merkmale mit den Vögeln haben als mit irgendeiner anderen Tiergruppe.“

umfunktionieren) und dabei „ganz spezielle Merkmale“ entwickelten, die sie von den *Sarcopterygiern* unterscheiden, ist aus evolutionärer Sicht eine Zwangsläufigkeit. Aufgrund des häufigen Auftretens von Artspaltungen (s. z.B. Gould 2002, S. 92), darf man auch bei „fossilen links“, wie z.B. *Acanthostega*, nichts anderes erwarten.⁵ Nach dem modernen Verständnis der Artbildung kann es eben immer nur **Mosaikformen** geben, die ursprüngliche und abgeleitete Merkmale nebeneinander aufweisen, einige ursprüngliche Merkmale *reduziert* und wiederum andere *konvergent* entwickelt haben.

Die Auffassung, wonach der Schlammpringer aufgrund seiner **Heterobathmien** nicht als Übergangsform taugt (offenbar erwartet Lönning eine Abstammungsleiter der kontinuierlichen Veränderung), zeigt also, dass die Vorstellungen der Evolutionsgegner über den Modus der Evolution veraltet sind. Dies erklärt auch die Feststellung, der Schlammpringer stünde nicht „in der Mitte“ (**in der Mitte von was eigentlich - etwa eines Formkontinuums?**). Bereits Mahner (1986, S. 62) hatte auf die Diskrepanz zwischen der modernen Auffassung über den Modus der Evolution und die veralteten Vorstellungen der Kreationisten mit folgenden Worten hingewiesen:

„Ein Grund kreationistischer Fehlinterpretation von ‚connecting link‘ ist deren unterschiedlicher Auffassung im Gegensatz zu den Evolutionsbiologen. Während für diese das ‚connecting link‘ ein Merkmalsmosaik darstellt, das durch die unterschiedliche Evolutionsgeschwindigkeit verschiedener Merkmale zustande kommt (Heterobathmie) und aus dem Nebeneinander von ursprünglichen und abgeleiteten Merkmalen besteht, verlangen die Kreationisten geradezu ein Morphenkontinuum zwischen den Fossilien (...) Präsentiert man ihnen eine Zwischenform, so wollen sie zwischen dieser und der Ahnenform eine weitere Zwischenform und so fort (...) Nicht nur solche Aussagen, sondern auch die fast ausschließliche Rede von der ‚Umwandlung‘ einer Art in eine andere zeigen, daß die Kenntnisse der Kreationisten über Artbildung nicht zeitgemäß sind. Anscheinend wird nur von der sog. phyletischen Evolution ausgegangen, und der transformativ-anagenetische Aspekt als einziger auch für die transspezifische Evolution verantwortlich gemacht (...) Doch vom cladogenetischen Aspekt der Evolution, von Artspaltung, z.B. bei allopatrischer Speziation, die ja gerade den Mosaikmodus der Evolution mitbedingt, oder von Heterobathmie, ist nicht die Rede.“

Im Übrigen ist der Mosaikmodus der Evolution (Heterobathmie) sowie die Bildung von Konvergenzen nicht nur die Folge von Artaufspaltung. Es ist ja schon zur Aufrechterhaltung der „Funktionsfähigkeit des Epigenotypus“ (Mahner 1986) nur eine *diskontinuierliche* und sich streckenweise nur entlang bestimmter „Entwicklungsbahnen“ vollziehenden Evolution (**Konvergenzbildung!**) denkbar (s. z.B. Futuyma 1990, S. 497f.; Riedl 2003). Wichtig erscheint für die Evolutionstheorie nur, dass die Anordnung der einzelnen Taxa im Kladogramm (Knorpelfische, Strahlflosser, Lungenfische, Amphibien usw.) das **stufenweise Auftreten abgeleiteter Merkmale** dokumentiert. Im Gegensatz dazu scheinen die Kritiker noch allzu sehr der traditionellen Taxonomie nachzuhängen, wonach offenbar gemeint wird, dass aus evolutionärer Sicht ein harmonischer Wandel aller Merkmale der vermeintlichen „Klasse“ der Fische hin zur „Klasse“ der Amphibien habe stattfinden müssen.

Gemessen am modernen entwicklungsbiologischen Hintergrundwissen sind daher auch Behauptungen, wie die folgenden, völlig verfehlt:

⁵ Gould schreibt, man erkenne: „... Anzeichen für Verzweigungen, Verzweigungen und nochmals Verzweigungen. Wo will man in diesem Dickicht einen Hauptstamm ausmachen? (...) Jede Spitze kann man über gewundene Wege bis zu einem letzten gemeinsamen Vorfahren zurückverfolgen, aber kein Weg verläuft gerade, und alle führen über seitliche Schritte von einem Artbildungsereignis zum nächsten in die Vergangenheit, **nicht über eine Abstammungsleiter der kontinuierlichen Veränderung.**“ (Gould 2002, S. 92)

„Insgesamt weist *Panderichthys* ein Merkmalsmosaik auf, das eine widerspru[c]hsfreie Einordnung in eine evolutionäre Abfolge *Eusthenopteron* – *Panderichthys* – frühe Tetrapoden in mehrfacher Hinsicht nicht erlaubt. Zudem ist sowohl im Bau des Hirnschädels als auch im Bau der Extremitäten in dieser Abfolge eine plötzliche, nicht-evolutionäre Änderung zu verzeichnen (...) In der Hirnschädel-Konstruktion gibt es seit dem Ursprung der *Sarcopterygier* bis zu *Panderichthys* keine signifikante Änderung trotz erheblicher Variation in der Schädelform. Bei *Acanthostega* ist die Konstruktion dann sprunghaft verändert; die neue Hirnschädel-Morphologie bleibt dann wieder unverändert bis zur Tetrapoden-Kronengruppe (...). Hier zeigt sich bislang ein deutliches Entweder-Oder in der Ausprägung des Hirnschädels (...) Fazit: Wir haben (...) die oft anzutreffende Situation, daß einzelne Merkmale wohl in eine Übergangstellung passen – hier zwischen den *Osteolepiformes* und den frühesten Tetrapoden -, andere dagegen einer solchen Position widersprechen. Und in einigen Merkmalskomplexen gibt es einen deutlichen Sprung zwischen *Panderichthys* und möglichen evolutionären Nachfahren. Zudem paßt die stratigraphische Position von *Panderichthys* nicht zu einer Übergangstellung dieser Gattung.“ (Junker 2004a, S. 7)

Das angeblich „widersprüchliche“ Merkmalsmosaik ist nichts weiter als eine Konsequenz der Evolutionstheorie unter Berücksichtigung konstruktiver Zwänge, und die „sprunghaften Veränderungen“ sowie das „Entweder-Oder“ sind teils eine Folge der Lückenhaftigkeit des Fossilbefunds, teils die Konsequenz der Artspaltung, teils auf den Epigenotypus zurückzuführen.

Was folgt hieraus nun bezüglich der Relevanz der Frage nach der exakten Position von Mosaikformen im Stammbaum (**Stammform oder "Seitenast"**), der Lönning so viel Gewicht beimisst? Nichts - die Stellung von Mosaikformen ist für die Beurteilung der Deszendenztheorie völlig unwesentlich (Mahner 1986)! Wichtig ist nur, dass sich in der Ordnung des Lebendigen eine *abgestufte* Formähnlichkeit widerspiegelt, die zwar durch Konvergenzen überlagert, aber nicht aufgehoben wird (Riedl 1990). Mosaikformen sind eine wichtige Stütze der Deszendenztheorie, die zeigen, dass Evolution nicht über ein Morphenkontinuum verläuft, sondern mosaikartig verläuft. ⁶

Überhaupt ist Lönning's Versuch, den Schlammpringer als Übergangsform „auf dem Weg zu den *Amphibien*“ zu demontieren, ein überaus müßiges Unterfangen. **Die Amphibien wären vergleichend morphologisch auch ohne Kenntnis des Schlammpringers von urtümlichen *Sarcopterygiern* („fischähnlichen Vorfahren“) ableitbar**, und wir kennen genügend fossile Mosaikformen, wie *Eusthenopteron*, *Panderichthys*, *Elginerpeton*, *Acanthostega*, *Ventastega*, *Ichthyostega*, *Greerpeton* etc., die zeigen, in welcher Reihenfolge sich evolutive Neuheiten entwickelt haben und wie die Entwicklung über randlich marine, wahrscheinlich stark verkrautete Bereiche zum Erwerb von tetrapoden Füßen *im Wasser* führte (Gaßner, pers. comm.).

Fragt man aus evolutionsbiologischer Sicht, wie die Entwicklung der Amphibien auf der *genetischen Ebene* vonstatten ging, müssen wir freilich klar sagen: Im Detail wissen wir es nicht. Dies spielt jedoch bei der Klärung der Frage, inwieweit die „connecting links“ Makroevolution evident erscheinen lassen, keine Rolle, denn die Frage der Deszendenz ist von der Frage nach den genauen Abläufen und Ursachen der Evolution logisch unabhängig (Mahner 1986). Natürlich hat man angesichts der enormen Artenvielfalt die Evolutionstheorie stets mit Erklärungslücken zu

⁶ Entspricht dies nun einer willkürlichen Interpretation unter Vorgabe der Evolutionstheorie? Selbstverständlich nicht! Es ist zwar richtig, dass "die Interpretation als Übergangsform ... die Vorstellung einer Makroevolution bereits voraus[setzt]". Da jedoch Beobachtungen generell nur im Lichte von Theorien Evidenz erlangen, ist diese Feststellung ohne jeden Argumentationswert. Entscheidend ist, daß die Deszendenztheorie (unter Einbeziehung des Wissens um die Vererbung Variation, Selektion) eine abgestufte Formähnlichkeit der Arten erwarten lässt, die man ja auch beobachtet (Neukamm 2005).

kämpfen; logisch gesehen führt aber die Diskussion offener Fragen völlig in die Irre, weil sich daraus nicht die von den Evolutionsgegnern gewünschte Fundamentalkritik generalisieren lässt.

Der Schlammspringer kann jedoch auch zur Klärung solcher Fragen als Modellorganismus wichtige Details besteuern. Vor allem die evolutionäre Entwicklungsbiologie ("EvoDevo") scheint diesbezüglich ein interessantes Forschungsgebiet darzustellen, denn in diesem Bereich gibt es synergetische Modelle, die für das Verständnis der Evolution wegweisend sein könnten. Einer von vielen plausiblen Ansätzen soll im Folgenden ausführlicher dargestellt werden.

Der Schlammspringer als Modellorganismus in der evolutionären Entwicklungsbiologie

In Anlehnung an Waddingtons Modell der "*epigenetischen Landschaft*" weist das "ontogenetische Programm", nach dem in der Individualentwicklung die Formbildung abläuft, eine gewisse **Plastizität** (Variabilität) auf, die für makroevolutionäre Umwandlungen genutzt werden könnte (s. Abb. 2).



Abb. 2: Der Kerngedanke von Waddingtons Modell besteht darin, dass die Individualentwicklung keine beliebigen Wege einschlagen kann, sondern eher mit dem Weg einer Kugel vergleichbar ist, die einen Abhang hinunterrollt: Je nach Struktur der Landschaft wird die Kugel in bestimmte (durch die Landschaft "vorgegebene") Kanäle (sog. **Chreoden**) bugsiert, während ihr andere Wege versperrt bleiben.

Die evolutionäre Entwicklung erfolgt mit anderen Worten nicht völlig *zufällig*, ihr Weg wird vielmehr streckenweise durch die Mechanismen der ontogenetischen Formbildung *determiniert*. Das Ergebnis ist über weite Strecken eine "Kanalisation" der Evolution, wobei nur solche Wege "befahrbar" sind, die durch die funktionellen Zwänge des ontogenetischen Entwicklungsprogramms vorgegeben werden (Näheres zum Modell der Chreode und der Kanalisation der Evolution s. z.B. Waddington 1957, 1970; Wuketits 1988; Futuyma 1990; Gibson & Wagner 2000; Riedl 2003).

Auch beim Schlammspringer lässt sich nun zeigen, dass dem „ontogenetischen Programm“ bestimmte "Entwicklungspotenzen" innewohnen, die bei einem nahen Verwandten der Amphibien als Reservoir für makroevolutionäre Veränderungen zur Verfügung gestanden haben könnten. So weist etwa Lorenzen (1988, S. 931 f) darauf hin, dass Hormongaben beim Schlammspringer vielschichtige Änderungen des Phänotyps hervorrufen können, die sich im weitesten Sinne unter den von Woltereck geprägten und von Schmalhausen weiterverfolgten Begriff „*Reaktionsnorm*“ subsumieren lassen. Er schreibt:

"Gerade das Problem der Entstehung neuer phänotypischer Strukturen hat immer wieder Gegner der Evolutionstheorie dazu geführt, letztere abzulehnen. Die synergetischen Ergebnisse werfen jetzt ein neues Licht auf die Makroevolution: Wie im Fall des Laserlichts kann eine Veränderung von Parametern über kritische Werte hinaus in dramatischer Weise zu neuen Organisationsformen führen. Im Fall von Lebewesen können sowohl genotypische als auch Umweltparameter kritische Werte überschreiten, so daß Phänotypen mit neuen Eigenschaften entstehen (...) Beispiele sind in Hülle und Fülle bekannt (...) Nach Harms (1934) werden beim amphibisch lebenden

Schlammpringer **Periophthalmus** bei mehrmonatiger Thyroxinbehandlung die Brustflossen zu beinchenartigen Extremitäten, wird die Haut dicker, werden die Kiemen verkleinert, nimmt die Luftatemfrequenz zu, wird die Abwesenheit vom Wasser länger ertragen usw. (...) Mit anderen Worten: In vielen Genotypen schlummern Potenzen, die wie in den aufgeführten Fällen erst durch adäquate Umweltreize realisiert werden. Andererseits können auch **geringfügige genotypische Veränderungen** unter bestimmten Bedingungen recht **dramatische Effekte** hervorrufen (...) Aufgrund der synergetischen und biologischen Ergebnisse ist also durchaus verständlich, dass neue Organisationstypen (...) in kritischen Phasen (...) durch **geringfügige** genotypische oder Umweltänderungen erzeugt werden. Es ist also keinesfalls nötig, nur **große** Änderungen äußerer oder innerer Parameter als Ursachen für große evolutive Änderungen anzunehmen." (Hervorhebungen im Schriftbild z.T. von M.N.).

Die hier beschriebenen Beobachtungen lassen nicht nur insofern aufhorchen, als es sich hier um kooperative Effekte handelt, die eine Summierung vieler kleiner voneinander unabhängiger Einzelmutationen entbehrlich erscheinen lassen und die vor allem beim Übergang von einer rein aquatischen Lebensweise an das Leben an Land gewiss nützliche Adaptationen darstellten. Die Resultate sind auch insofern interessant, als sie den oben beschriebenen Ansätzen neue Nahrung verleihen und zudem eine interessante Möglichkeit bieten, um den postuliertem Übergang vom Leben im Wasser an das Leben an Land auf entwicklungsbiologischem Weg zu testen.

Freilich sind die von Lorenzen beschriebenen Modifikationen nicht erblich, da es sich um somatische Veränderungen handelt, die keine genetische Ursache haben. Die Frage ist nun, ob solche Veränderungen über den so genannten **Baldwin-Effekt** genetisch verankert werden können und ob sich die kausaltheoretisch am "Modellorganismus Schlammpringer" gewonnenen Erkenntnisse historisch extrapolieren lassen. Kirschner und Gerhart (2005, S. 82 f.) bejahen diese Frage, indem sie feststellen, dass der Baldwin-Effekt generell ein interessanter und viel beachteter Sachverhalt bei der Entstehung qualitativer Neuheiten darstellt:

"Several evolutionary biologists, including Mary Jane West-Eberhard, along with Carl Schlichting and Massimo Pigliucci, emphasized the possible broad applicability of this adaptation-assimilation hypothesis in explaining the origin of complex phenotypic variations (...) Thus this model, like Schmalhausen's, has a phenotypic accommodation phase followed by a genotypic accommodation phase. Most elements of a phenotypic novelty would not be new, and the role of mutations would be to provide small, heritable regulatory modulations rather than to create major innovations."

Der Baldwin-Effekt, der das Übergehen einer Charakteristik in das genetische Material einer Spezies beschreibt, hat übrigens nichts mit der Hypothese von der Vererbung erworbener Eigenschaften („**Lamarckismus**“) zu tun. Vielmehr steckt dahinter der Gedanke, dass nachfolgende Generationen einen evolutionären Vorteil haben, sobald günstige somatische Veränderungen bei einem Individuum zufällig aufgrund genetischer Veränderungen erblich werden. Wird ein Entwicklungsvorgang einer Störung ausgesetzt (etwa unter dem Einfluss eines Giftes), gelingt es immer wieder, den Phänzustand durch bestimmte Mutationen zu kopieren („**Phänokopie**“) – eine Tatsache, auf die bereits Goldschmidt hingewiesen hat. Wenn z.B. eine Mutation beim Schlammpringer eine Erhöhung des Thyroxinspiegels während der Frühphase der Ontogenese bewirkt, ist die Störung des Entwicklungsvorgangs erblich und breitet sich in der Population aus, falls sie durch günstige Umweltbedingungen selektioniert wird.

Im Hinblick auf den Schlammpringer ist nun die Auffassung von Bateman, der biologische Fragen leider nur am Rande tangiert, besonders aufschlussreich. Bateman (2003) schreibt:

"The mudskipper - which spends part of its life out of the water - represents a tiny side chreode in the canal of fish, showing a little biological creativity. It's quite possible that similar species that

shared that chreode in the past were the ancestors of all land vertebrates, including the versatile mammals, but first they had to overcome the substantial energy barrier of living outside of water, a barrier represented by the steep sides of the fish chreode. That putative evolutionary breakthrough would have been made considerably easier by the lack of any significant competition for land at the time."

Mit anderen Worten: Der Schlammpringer scheint einen „Nebenkanal“ im ontogenetischen Entwicklungsprogramm der Fische zu repräsentieren. Es ist nach Bateman durchaus plausibel, dass einige Arten, die dem Schlammpringer phylogenetisch nahe stehen und diesen Kanal teilen, zu den Vorfahren der heutigen Landwirbeltiere gehören. Damit wäre der Schlammpringer ein interessanter Modellorganismus im Rahmen des noch jungen Biologiezweigs "EvoDevo", und es ist sicher eine heuristisch fruchtbare Fragestellung, ob sich derartige Fische heute noch finden lassen. Der Einwand, wonach Guppys, Schwerträger und andere Aquarienfische die Chreode möglicherweise nicht teilen, ist jedenfalls kein Argument zugunsten der Annahme, dass derartige Transformationen nicht bei bestimmten Fischen möglich sind. Vielmehr wird man erwarten, dass bestimmte Formen „plastischer“ sind, als andere – erstere können aufgrund ihrer speziellen Genausstattung bestimmte Entwicklungschancen nutzen. Fände man tatsächlich solche Fische, bedeutete dies freilich nicht, dass damit "ein Zwang" zur Entwicklung *von Amphibien* eingeleitet würde. Gaßner bemerkt dazu:

*„Was Lönnig ebenfalls nicht verstanden hat ist die Tatsache, dass die Amphibien **einmal** entstanden sind, und dass nun nie mehr irgendwelche Tiere zu Amphibien werden können, es sei denn es handelt sich um Nachkommen des Uramphibs.“*

Außerdem werden nur solche Exemplare eine Transformation durchmachen, welche nicht nur die genetische Prädisposition dazu besitzen, sondern aufgrund ihrer Lebensweise auch unter einem hohen Selektionsdruck stehen. Der "Einwand", wonach "von den 22 000 Fischarten, die Systematiker heute unterscheiden, Tausende von Arten [oder fast alle, die schon einmal die Bekanntschaft mit dem Land gemacht haben]" in der Lage sein müssten, "auch an der 'frischen Luft' zurechtzukommen (Zeiten und Gelegenheiten sollten sie ja zur Anpassung nach der Evolutionstheorie genug gehabt haben)", ist daher in etwa so unsinnig, wie wenn behauptet wird, die heutigen Bakterien hätten sich längst zu höheren Metazoen weiterentwickeln müssen. Selbst der Kreationist R. Junker (1998) zeigt die Unhaltbarkeit solcher "Argument" auf, indem er feststellt:

"Dieses Argument hat (...) kein starkes Gewicht, da Evolutionstheoretiker diesen Befund in ihrem Denkgebäude einigermaßen plausibel einordnen können. Denn nach der Evolutionstheorie gibt es keinen Veränderungsdruck. Wenn ein Teil der Lebewesen sich lange Zeit nicht verändert so wird das z. B. auf konstante Umweltbedingungen zurückgeführt. Gleichzeitig, so wird argumentiert, habe sich ein Teil der Lebewesen aber weiterentwickelt, der Teil nämlich, der unter veränderte Umweltbedingungen geriet (es kommen auch andere Gründe in Frage)."

Makroevolution, "facilitated variability" und irreduzible Komplexität

An dieser Stelle könnte der Skeptiker einwenden, die ontogenetische Plastizität biete nur Raum für *quantitative (mikroevolutive)* Veränderungen. Da das gesamte Variationspotential in den Genen bereits enthalten ("programmiert") sei, könne etwas "*wirklich Neues*" auf diese Weise nicht entstehen. Kirschner und Gerhart, West-Eberhard und andere führende EvoDevo-Vertreter teilen diese Auffassung jedoch nicht. Zum einen sind evolutionäre Neuheiten ja nicht wie bei einer Blaupause in den Genen "enthalten"; ihr Auftreten ist vielmehr die Folge moderater Umstrukturierungen von Regulationsprozessen, die dazu geeignet sein können, vielschichtige Änderungen des Phänotypus hervorzurufen und damit auch aus Sicht von EvoDevo die großen Transformationen im Tierreich erklären könnten. Zum anderen sind, wie Kirschner und Gerhart

(2005) anhand zahlreicher Beispiele erläutern, die Modifikationen nicht rein *quantitativer* Natur; vielmehr scheinen einige Veränderung in der Summe durchaus dazu geeignet zu sein, *qualitative* Umbauten zu bewerkstelligen. Wenn (abhängig vom jeweiligen Systemzustand) diejenigen Mechanismen, welche für die ontogenetische Variation verantwortlich sind, Formveränderungen höchst unterschiedlichen Ausmaßes erzeugen können, ist zu fragen, ob es einen grundsätzlichen Bruch zwischen Mikro- und Makroevolution **auf der Ebene der Mechanismen** überhaupt geben kann. Zahlreiche Systemtheoretiker verneinen dies ganz klar; so schreibt z.B. Wuketits (1988, S. 151):

"Aus der Perspektive der Systemtheorie der Evolution besteht kein grundsätzlicher Bruch zwischen mikro- und makroevolutiven Vorgängen (...) Man kann sich vorstellen, daß genetische Wechselwirkungen, spezifisch für jeden Organismus bzw. seine Population und/oder Spezies, so weit abwandelbar sind, daß ein breites Spektrum von Möglichkeiten entsteht."

Im Übrigen scheint die Notwendigkeit zur Erfindung radikaler Neuerungen ("*major innovations*") von den Evolutionsgegnern erheblich überschätzt zu werden. Wenn etwa gefragt wird, wie die Gene und Genwirkketten zur Bildung des Merkmalsgefüges der Amphibien im Einzelnen entstanden sind, ist dies zwar eine berechtigte und heute noch weitgehend unbeantwortet gebliebene Frage. Es wird dabei nur übersehen, daß diese Frage bei der Erklärung der makroevolutionären Transformation „fischähnlicher“ Organismen insofern nur eine eingeschränkte Rolle spielt, als die hierfür verantwortlichen Gene sowie die elementaren biochemischen Prozesse ("**conserved core processes**") weder *de novo* noch in einem Schritt konstruiert werden mussten. Angefangen mit den Metabolismen bis hin zu den durch den HOM-/HOX-Komplex mitbedingten Regulationsprozessen - all diese elementaren biochemischen Prozesse sind bei den Amphibien nicht neu entstanden, sondern waren größtenteils bereits bei den Fischen und Ascidien, zum Teil schon bei den Arthropoden und in den Grundzügen schon bei Anneliden vorhanden.

Wenn also das hierzu benötigte genetische und epigenetische Rüstzeug in diesem Abschnitt der phylogenetischen Entwicklung größtenteils bereits vorhanden war, ist es unsinnig, die Makroevolution an der Frage scheitern zu lassen, wie sich diese Merkmale („conserved core processes“) im Einzelnen entwickelt haben.

Selbst die Gene, welche für die Entstehung all jener Kompensationsleistungen verantwortlich sind, die den Amphibien ein Leben an Land ermöglichen, lassen sich teilweise bereits bei urtümlichen *Chordaten* nachweisen, wo sie freilich andere Funktionen übernehmen. Eine der wichtigsten Einsichten der modernen Evolutionsbiologie stützt sich daher auf die Erkenntnis, dass es *nicht zwingend* der Erfindung **neuer Gene** bedarf, um makroevolutionäre Umwandlungen zu bewerkstelligen; vielmehr ist eine **moderate** Umstrukturierung bzw. das Neuarrangement der elementaren Regulationsmechanismen im Rahmen von "EvoDevo" zunehmend als Motor der Makroevolution in der Diskussion (s. Hall 1996, S. 227-229; Ridley 2003; Kirschner und Gerhart 2005). Ridley (2003) bemerkt hierzu:

"To make grand changes in the body plan of animals, there is no need to invent new genes, just as there's no need to invent new words to write an original novel (unless your name is Joyce). All you need do is switch the same ones on and off in different patterns. Suddenly, here is a mechanism for creating large and small evolutionary changes from small genetic differences. Merely by adjusting the sequence of a promoter or adding a new one, you could alter the expression of a gene".

Ähnlich äußern sich Kirschner und Gerhart (2005), indem sie feststellen:

"... all organisms are a mixture of conserved and nonconserved processes (...) rather than a uniform collection of processes that change equally in the course of evolution. Novelty in the organism's physiology, anatomy or behaviour arises mostly by the use of conserved processes in new combinations, at different times, and in different places and amounts, rather than by the invention of new processes." (S. 34 f.)

Bildlich gesprochen hat die Evolution nie vor der Aufgabe gestanden, aus einem wirren "Buchstabensalat" durch **blindes Würfeln** einen sinnvollen Roman *de novo* entstehen zu lassen. Vielmehr bestand die Aufgabe vornehmlich in einer Restrukturierung bereits vorhandener Versatzstücke. Die Evolution operiert mit einem Baukasten bereits vorhandener, konservierter Module (das heißt mit ganzen Wörtern, Satzteilen, Sätzen und Text-Abschnitten), die kopiert, umstrukturiert und zu immer neuen "Texten" arrangiert werden, wodurch die evolutionäre Entwicklung sozusagen **kanalisiert** und streckenweise dem Regime des Zufalls entzogen wird, da die Entwicklungsmöglichkeiten einschränkt sind. Obgleich das komplexe Zusammenspiel der Gene der Evolution funktionelle Zwänge (**constraints**) auferlegt und somit den Evolutionsspielraum stark einengt, erleichtert gerade erst das vielfältige „Recycling“ konservierter „core processes“ die genetische und phänotypische Variation.⁷

Wiewohl dieses Modell sicher noch vermehrt „mit Fleisch gefüllt“ werden muss, sind die **biologischen Fakten**, mit denen das Modell Evidenz erlangt, heute schon beeindruckend genug. Das kreationistische Argument, es fehle „*eine Erklärung für Makroevolution trotz intensivster Bemühungen vollständig*“ (Junker 2005a, S. 8), ist daher rundheraus falsch und eine an Platttheit nicht zu überbietende Verallgemeinerung, die sich nur aufrecht erhalten lässt, wenn man die enorme Wissensprogression, die im Bereich der Mechanismenforschung zu verzeichnen ist, völlig ignoriert.

Außerdem hängt Junkers Feststellung immer davon ab, *was genau man auf welcher Ebene* erklärt haben möchte. Die Behauptung, „Makroevolution“ sei noch nicht befriedigend erklärt, ist daher immer **subjektiv** und hängt davon ab, mit welcher „Erklärungstiefe“ man sich zufrieden gibt. Darüber hinaus ist der Begriff "Makroevolution" derart schwammig (unseres Wissens gibt es hierzu mehrere Dutzend unterschiedlicher Auffassungen, was damit gemeint ist), dass Evolutionsgegner freilich immer den bequemsten Weg gehen und sich einen Sachverhalt aussuchen können, der bislang noch nicht erklärt worden ist. Ein solches „Springen von einer Frage zur Nächsten“ rechtfertigt jedoch keine Fundamentalkritik! Denn heute sind auf epigenetischer Ebene mehr Modelle und Mechanismen zur Erklärungen des evolutionären Wandels in der Diskussion, als jemals zuvor - immer mehr Details fügen sich zu einem Gesamtbild. Im Hinblick auf die Evidenzen und aktuellen Einsichten in die filigranen Zusammenhänge der Ontogenese und Evolution ist es daher nicht übertrieben, wenn führende Vertreter des Forschungszweigs EvoDevo mit Blick auf die Fakten folgenden Schluss ziehen:

„General principles of generating variation are evident and have been incorporated into a general understanding, a theory of facilitated variation. The theory may be still in progress, to be improved as more mechanisms unfold, but it is no longer accurate to say that science cannot explain

⁷ Daß solche Modelle nicht auf dieses abstrakte Niveau beschränkt bleiben, sondern sich an konkreten Sachverhalten evident machen lassen, belegen Kirschner und Gerhart (2005) anhand einer Fülle biologischer Fakten. Dabei kristallisiert sich heraus, daß die elementaren Regulationsprozesse (wie z.B. die Reaktionskaskaden bei der Genregulation) zwar **hoch konserviert** geblieben sind, dass sich aber die Signalmoleküle, welche in die jeweiligen Reaktionskaskaden involviert sind, in ihrer Struktur hinreichend "plastisch" verhalten. So kann z.B. die "weiche" Stelle eines Gen-Repressors durch Mutation leicht derart abgewandelt werden, daß es auf unterschiedliche Signalmoleküle anspricht. Die Autoren sprechen diesbezüglich von "weak linkage" und "deconstraint" und resümieren, dass sich auf diese Weise die hoch konservierten biochemischen Prozesse vergleichsweise einfach restrukturieren und in andere Funktionszusammenhänge einbauen lassen, wodurch sich die komplexe Vielfalt des Lebendigen erklären lässt.

the generation of novelty and the pace of evolutionary change. *Nor it is correct to say that the greater the complexity of the organism, the harder it is to explain its evolution. Just the opposite. The special nature of the complexity is at the heart of the capacity to generate variation.*" (Kirschner und Gerhart 2005, S. 273; Hervorhebung von M.N.)

Im Lichte dieser Erkenntnisse müssen freilich auch die sattsam bekannten Berechnungen der (Un-) Wahrscheinlichkeit bestimmter Evolutionsschritte an Grenzen stoßen, solange man nicht weiß, welche Genkombinationen welchen Spezies unter welchen Bedingungen welchen Selektionsvorteil beschere, welche Mutationen unter welchen Bedingungen welche Effekte nach sich ziehen und welche Doppel- bzw. Mehrfachfunktionen für eine evolutionäre Umwandlung genutzt werden könnten usw. Die üblichen von Evolutionsgegnern durchgeführten Berechnungen taugen daher höchstens zur Beschreibung eines "Münzwurfspiels 'Kopf oder Adler'" (Eigen 1983, S. 72-75), nicht aber zur Beschreibung komplexer, nichtlinearer Systeme und haben daher mit seriöser Biologie nichts zu tun. (Für eine ausführliche Kritik am Wahrscheinlichkeitsargument s. Eigen 1983; Mahner 1986; Neukamm 2004a).

Aus demselben Grund erweist sich auch das evolutionskritische Postulat, wonach komplexe biologische Merkmale nicht durch positiv selektionierte Zwischenstufen überbrückt werden können („**irreduzible Komplexität**“) im Lichte der neueren entwicklungsbiologischen Kenntnisse mehr als voreilig. Kirschner und Gerhart (a.a.O.) sehen ganz klar, daß sich das Problem, wie es Behe und andere Vertreter des Intelligent Design diskutieren, in dieser Form überhaupt nicht stellt (ähnlich Neukamm 2004b):

*"We can sympathize with Behe, with Paley, and even with Darwin, that the origins of extremely complex structures are hardest to understand. Though the advocates of intelligent design invoke 'irreducible complexity,' they never ask about the nature of that complexity. Behe uses elaborate biochemical examples to intimidate us into believing that the complexity of living cells is beyond understanding. Yet today, understanding the nature of complexity is a major pursuit in science and the focus of much of this book. In Behe's particular example, we know that the signaling pathway from the visual pigment (which itself is conserved from bacteria to humans) to the electric channel in the cell that receives the light impulse in the retina is, in fact, a concatenation of conserved core processes common to eukaryotic cells. Furthermore, these processes all have a capacity for weak linkage so that they can be easily wired in different circuits. Ironically, one of the best examples of the capacity for weak linkage for rewiring is the eye. If Behe were to look at the biochemical pathway for vision in insects, he would find it almost completely different from that in vertebrates; but on delving deeper, he would see something more remarkable than two unrelated complex examples. Though the wiring in the insect and the wiring in the vertebrate are completely different, the components used in the two visual systems are again taken from the shared dowry of conserved core processes present in both organisms (...) Behe sees the **constraint** in the particular designs, but not the **deconstraint** these designs provide"* (S. 267-269).

Die „Intelligent-Design-Theorie“: Ein fruchtbarer wissenschaftlicher Ansatz?

Wie sieht es nun unter Berücksichtigung der genannten Gesichtspunkte mit der ID-Lehre aus? Inwieweit trägt die ID-Lehre etwas zur Erhellung der bislang erörterten Zusammenhänge, Fragen und Probleme bei? Lönnig schreibt: *"Erklären Sie mir doch bitte einmal, wie Sie im Detail diese Probleme mit Hilfe von Zufalls-Mutationen auf physiologischer, anatomischer und ethologischer Ebene lösen wollen. Kein Evolutionist hat bisher eine naturwissenschaftliche Beweisführung für seine Behauptungen geliefert. Statt dessen stoße ich laufend auf Simplifikationen der zur Debatte stehenden für die Evolutionstheorie oft gewaltigen Probleme (man muss wohl simplifizieren, weil sonst ja die Theorie nicht stimmen würde!), finde ununterbrochen psychologische Kriegführung..."*

Sehen wir einmal von der polemischen Entgleisung am Schluss ab (was hat ein deduktiv begründetes Plädoyer zugunsten der Evolutionstheorie mit "psychologischer Kriegsführung" zu tun?), mutet dieser Kommentar mehr als seltsam an, wenn man nur einmal die heutigen Einsichten in die filigranen Zusammenhänge der Ontogenese und Evolution mit den faktisch leeren Design-Analogien vergleicht. Im direkten Vergleich dessen, was evolutionäre, entwicklungsstrukturalistische Modelle und die ID-Lehre leisten, wird jedenfalls klar, daß Lönnigs "Theorie" wohl die simpelste aller überhaupt denkbaren "Lösungen" anbietet. **Keine einzige der von ihm erhobenen Fragen hat er auch nur annähernd mithilfe der ID-Lehre beantwortet; er lagert die Probleme einfach in den nicht näher beschreibbaren Design-Nebel aus!**

Auch und gerade angesichts der vielen Fragen bezüglich der Evolution bestimmter Merkmale und Arten, die derzeit noch der Lösung harren, ist es methodologisch fatal und ein grober Verstoß gegen den Ethos sowie gegen die methodologischen Prinzipien der Naturwissenschaften, die offenen Fragen "bis auf Weiteres" einfach durch ein nicht spezifizierbares "intelligentes Design" zu "lösen", für dessen kausaltheoretische Erklärung keinerlei methodologische Handhabe existiert. (*"Erklären Sie mir doch bitte einmal, wie Sie im Detail das Design-Problem lösen wollen."*) Heuristisch ist eine solche Vorgehensweise fruchtlos, denn die "ID-Theorie" gibt Antworten vor, die bei näherer Betrachtung keine sind. Dies sehen Gishlick et al. (2004) ganz klar, wenn sie sagen:

"ID [the theory of 'Intelligent Design'] doesn't stand a scientific chance without some kind of model of what happened, how, and why. Only a reasonably detailed model could provide explanatory hypotheses that can be empirically tested. 'An unknown intelligent designer did something, somewhere, somehow, for no apparent reason' is not a model."

Dies gilt umso mehr, als die Design-Analogien mit der Technik nicht stichhaltig sind (Neukamm 2004b) und das Design-Argument genau genommen schon seit Hume keines mehr ist (Mahner 2003). Und obwohl Junker (2004b, S. 10) behauptet, daß die vermeintlichen "Design-Signale" erst nach *"eingehender Forschung"* (**was soll das überhaupt heißen?**) gefunden und nur auf der Basis des jeweiligen Wissensstandes begründet würden, ist doch unübersehbar, daß ID-Vertreter weder selbst *"eingehend"* am Problem forschen (mechanismische Ansätze, wie den oben dargestellten, verfolgen sie nicht), noch die Ergebnisse der Forschung abwarten. Vielmehr verlagern sie ihr Standbein fast ausschließlich auf die Kritik an der Evolutionstheorie. Wissenschaft aber lebt und floriert gerade von konstruktiven Ansätzen und dem Präsentieren mechanistischer Modelle zur Lösung offener Fragen in Bezug auf Makroevolution. Hierzu haben ID-Vertreter nichts beizusteuern.

Eines ist daher sicher: Offene Fragen lassen sich wissenschaftlich - wenn überhaupt - nur im Rahmen mechanistischer Modelle lösen, so dass eine Wissensprogression nur im Bereich der Evolutionsbiologie und in den Forschungsbereichen möglich sein wird, die an sie angrenzen (wie z.B. in der Entwicklungsbiologie). ID verfügt weder über ein florierendes Forschungsprogramm, noch über prüfbare mechanistische Modelle zur Beschreibung und Erklärung des vermeintlichen "Designs". Alles, was zählt, ist, *„dass Er (oder Sie oder Es) das machte. ‚ID funktioniert auf wundersame Weise‘. Was für eine bemerkenswert unwissenschaftliche Haltung. Was für ein erstaunlicher Mangel an Neugier über die Welt“*, schreibt Shermer (2000) und trifft damit den Nagel auf den Kopf. **Um wie viel mehr erstaunt diese merkwürdige Haltung erst bei einem Mutationsgenetiker, der als „Diener der Wissenschaft“ eigentlich konstruktive, kausaltheoretische Lösungsansätze zur Beantwortung offener Fragen der Makroevolution beisteuern müsste?** ⁸

⁸ Aus dem Blickwinkel der Intelligent-Design-Lehre ist diese Haltung freilich folgerichtig: Da sie die Auffassung vertritt, Makroevolution sei unmöglich, verfolgen sie auch keine mechanistischen Ansätze. Diese Position ist naturwissenschaftlich gesehen jedoch verfehlt, da ja schon die vermeintlichen Indizien, die zugunsten einer „irreduziblen Komplexität“ sprechen, nicht stichhaltig sind (s. Neukamm 2004b). Außerdem gebietet der Ethos der

Können Zwischenformen für eine Modellbildung im Rahmen von Intelligent Design genutzt werden?

ID kann auch aus der Existenz von Zwischenformen keinerlei Honig saugen. Zwar könnte man aus Sicht von ID auch den Schlammpringer, die Labyrinthfische und fossile Zwischenformen, wie z.B. *Ichthyostega* usw. willkürlich als **Modellorganismen** betrachten, und anhand entwicklungsbiologischer Überlegungen bestimmte Anforderungen an das Design ableiten. So meint z.B. Junker (2005b, S. 18), die Formähnlichkeit könne auf „funktionelle Zwänge“ zurückführen sein, die „*auch im Rahmen des Schöpfungsparadigmas gelten, denn funktionelle Zwänge gelten notwendigerweise für alle Paradigmen*“. Eine solche Argumentation ist jedoch logisch widersprüchlich, da ja schon die Annahme, dass sich ein nicht näher spezifizierbarer Designer **überhaupt an weltimmanente Prinzipien und Zwänge halten muss**, durch kein Argument erhärtet werden kann (Neukamm 2005). Wäre der Designer nicht von dieser Welt, gäbe es keinen Grund anzunehmen, weshalb er das Gesetzesnetz der Natur nicht nach Belieben modifizieren sollte. Weshalb soll der Designer dann nicht auch Arten erschaffen können, die auf der Sonne leben, ohne Nahrung auskommen oder aus Luft bestehen, anstatt das Gesetzesnetz der Natur so und nicht anders festzulegen, wie er es tat? Weshalb sollte er nicht die tradierte Ordnung des Lebendigen überwinden, anstatt immerzu nur das (wenngleich erstaunlich vielfältige) Reservoir eines beschränkten Baukastens zu recyceln?

Man sieht also auch hier, dass eine “Theorie”, die für das Wirken des postulierten Designers keine objektive Grenze angeben kann, weil dessen Wirkmechanismen nicht methodologisch untersucht werden können („an unknown intelligent designer did something, somewhere, somehow, for no apparent reason“) keinen wissenschaftlichen Modellcharakter annehmen kann bzw. keinen methodologischen Status hat. Während sich aus den mechanistischen Aussagen der Evolutionstheorie konkrete Anforderungen an die Natur der Modellorganismen ableiten lässt, funktioniert dies bei der ID-Lehre nicht.

Die Annahme eines wie auch immer gearteten „Designs“ erhält eben nur dadurch eine gewisse Plausibilität, indem angenommen wird, der Designer müsse sich an bestimmte naturgesetzliche Gegebenheiten und Entwicklungszwänge halten – eine Annahme die aber bereits das voraussetzt, was es zu belegen gilt. Solange der Designer nicht spezifiziert werden kann, endet jeder Versuch, „Design“ am Beispiel der Entstehung der Arten plausibel zu machen, in einem Zirkelschluss.

Resümee

Der Artikel hat gezeigt, dass (fossile) Mosaikformen in vielerlei Hinsicht die modellhafte Rekonstruktion der Stammesgeschichte ermöglichen. Zum einen zeigen Organismen wie der Schlammpringer die vielfältigen Entwicklungsmöglichkeiten auf, die beim Übergang von einer rein aquatischen Lebensweise zu einer Lebensweise an Land genutzt werden können bzw. genutzt worden sein könnten. Auch im Rahmen der modernen evolutionären Entwicklungsbiologie gibt es einige viel versprechende kausaltheoretische Ansätze - auch hier lassen sich am Beispiel des Schlammpringers die Entwicklungswege der Evolution modellieren.

Andererseits lässt sich aus der Stellung der verschiedenen Organismengruppen im Kladogramm die Abfolge der Entstehung evolutiver Neuheiten rekonstruieren. Die abgestufte Ähnlichkeit der Arten ist zudem einer der stärksten der Belege zugunsten der Abstammungstheorie, weil sie genau diesen und keinen anderen Befund erwarten lässt. Dies gilt für die Lehre vom „Intelligent

Design“ hingegen nicht, da sich für das Wirken des Designers keine objektive Grenze angeben lässt. Alle Annahmen über die Notwendigkeit eines bestimmten Designs sind rein willkürlich gewählt. Da die Lehre vom Intelligent Design zudem nichts zur Klärung offener Fragen beizusteuern hat und über keine methodologische Handhabe zu Beschreibung und Erklärung von Design verfügt, ist sie ein heuristisch fruchtloses, wissenschaftlich wertloses Lehrgebäude.

Danksagung

Für die hilfreichen Korrekturvorschläge danken wir Dr. Andreas Beyer und ganz besonders Thomas Gaßner, der mit seinen Kommentaren die Entstehung dieses Textes unterstützt hat.

Literatur

Bateman, C. (2003): The Evolution of Games: Originality & Chreodes. www.igda.org/articles/cbateman_evolution.php, 22.02.06

Bertalanffy, L.v. (1970): Gesetz oder Zufall: Systemtheorie der Selektion. In: Koestler, A.; Smythies, J.R. (Hrsg.): Das neue Menschenbild. Die Revolutionierung der Wissenschaften vom Leben. Wien, München, Zürich, 71-90 .

Eigen, M. (1983): Entstehung des Lebens. Ein Ereignis zwischen naturgesetzlichem Zwang und historischer Einzigartigkeit. *Natur* 2 (3), S. 68-77.

Futuyma, D.J. (1990): Entwicklungsintegration und Makroevolution. In: ders.: *Evolutionsbiologie*. Basel, 497-498.

Gibson, G.; Wagner, G. (2000): Canalization in evolutionary genetics: a stabilizing theory? *BioEssays* 22,372-380.

Gishlick, A.; Matzke, N.; Elsberry, R. (2004): Meyer's Hopeless Monster. Review of Meyer, Stephen C. 2004: The origin of biological information and the higher taxonomic categories. www.pandasthumb.org/pt-archives/000430.html, 22.02.06

Gould, S.J. (1982): *The Panda's Thumb. More Reflexions in Natural History*. New York- London.

Gould, S.J. (2002): *Illusion Fortschritt. Die vielfältigen Wege der Evolution*. Frankfurt.

Gould, S.J.; Lewontin, R. (1979): The spandrels of San Marco and the Panglossion paradigm: a critique of the adaptationist programme. *Proc R Soc Lond B* 205 (1161): 581–598.

Hall, B.K. (1996): Baupläne, Phylotypic Stages, and Constraint. Why There are so Few Types of Animals. *Evolutionary Biology* 29, 215-261.

Junker, R. (1998): Evolutionskritik update (2). Zweite Folge von 'Die richtigen Argumente gegen Evolution einsetzen'. www.wort-und-wissen.de/index2.php?artikel=d98-1, 22.02.06

Junker, R. (2004a): Vom Fisch zum Vierbeiner – eine neue Sicht zu einem berühmten Übergang. www.genesisnet.info/pdfs/Vom_Fisch_zum_Vierbeiner-eine_neue_Sicht.pdf, 04.03.06.

Junker, R. (2004b): Intelligent Design. www.genesisnet.info/pdfs/Intelligent_Design.pdf, 22.02.06.

Junker, R. (2005a): Was erklärt die Evolutionstheorie? Anfragen eines Kritikers. www.wort-und-wissen.de/artikel/a03/a03.pdf, 22.02.06

Junker, R. (2005b): Wissenschaft im Rahmen des Schöpfungsparadigmas. www.wort-und-wissen.de/artikel/a02/a02.pdf, 04.03.06

Kirschner, M.W.; Gerhart, J.C. (2005): *The Plausibility of Life. Resolving Darwin's Dilemma*. Yale University Press: New Haven, CT.

Kutschera, U. (2006): *Evolutionsbiologie*. Stuttgart.

Lönnig, W.-E. (2006): Der Schlammspringer (*Periophtalmus*) – ein Beweis für "Macroevolution in Progress"? www.weloennig.de/Schlammspringer.pdf.

Lorenzen, S. (1988): Die Bedeutung synergetischer Modelle für das Verständnis der Makroevolution. *Eclogae Geologicae Helveticae* 81, 927-933.

Mahner, M. (1986): *Kreationismus - Inhalt und Struktur antievolutionistischer Argumentation*. Berlin.

Mahner, M. (2003): Hume, Paley und das Design-Argument. *Skeptiker* 16(4), 131.

Neukamm, M. (2004a): Evolution – kein Zufall! Über die Argumentation mit der Wahrscheinlichkeit. www.martin-neukamm.de/zufall.html

Neukamm, M. (2004b): Weshalb die Intelligent-Design-Theorie nicht wissenschaftlich überzeugen kann. *Materialien und Informationen zur Zeit* 33(3), 14-19.

Neukamm, M. (2005): Die kreationistische Grundtypenbiologie in der Kritik. Warum es keine empirisch-wissenschaftliche Schöpfungsforschung geben kann. *Skeptiker* 18(4), 144-150.

Neukamm, M.; Beyer, A. (2005): Affäre Max Planck – und kein Ende? Über die fragwürdigen Diskursmethoden eines Evolutionsgegners. www.evolutionsbiologen.de/max-planck.pdf.

Ridley, M. (2003): What Makes You Who You Are: Which Is Stronger – Nature or Nurture? *Time* 161(22), 54-63.

Riedl, R. (1990): *Die Ordnung des Lebendigen. Systembedingungen der Evolution*. Parey, Berlin.

Riedl, R. (2003): *Riedls Kulturgeschichte der Evolutionstheorie. Die Helden, ihre Irrungen und Einsichten*. Springer, Berlin.

Shermer, M. (2000): ID Works In Mysterious Ways. *Skeptic* 8 (2), 23-24.

Waddington, C.H. (1957): *The Strategy of the Genes*. Geo Allen & Unwin, London.

Waddington, C.H. (1970): Der gegenwärtige Stand der Evolutionstheorie. In: Koestler, A.; Smythies, J.R. (Hrsg.): *Das neue Menschenbild. Die Revolutionierung der Wissenschaften vom Leben*. Wien, München, Zürich, S. 342-356.

Wuketits, F.M. (1988): *Evolutionstheorien. Historische Voraussetzungen, Positionen, Kritik*. Darmstadt.