

## „What Nature Doesn't“ - zwei Perspektiven

Markus Rammerstorfer (2004), Linz/Austria  
E-Mail: [intelligentdesign@yahoo.de](mailto:intelligentdesign@yahoo.de)



**"What Nature Doesen't" ist ein anregendes Kapitel in dem (Lehr-)Buch „Comparative Biomechanics“ von Steven VOGEL (2003): Welche Konstruktionen gibt es in der Natur nicht? Warum gibt es sie nicht? Leistet die Vorstellung einer Evolution einen Beitrag zur Klärung dieser Frage? Und die Zusatzfrage: Was leistet die ID-Perspektive in diesem Bereich? HINWEIS: Heraushebungen in Zitaten sind i.d.R. von mir, in anderen Fällen wird dies angemerkt.**

### Das Buch...

... besteht natürlich überwiegend aus biomechanischen Beschreibungen – wer Details über Lebewesen (und griffige Vergleiche mit technischen Systemen) sucht, wird bestens bedient. Stichwort „bestens bedient“: Bekanntermaßen sind ID-Vertreter besondere Liebhaber von komplex organisierten biologischen Systemen sowie von Analogien zwischen Natur und Technik. Insofern ist „Comparative Biomechanics“ zweifellos nähere Betrachtungen wert! Zur fachlichen Qualität des Buches hat sich Daniel E. LIEBERMAN (2004) in einer Rezension für *Nature* geäußert. Hier einige Auszüge, die gleichzeitig einen ersten Eindruck von diesem Werk vermitteln sollen:

*„The physical world poses many basic challenges, such as gravity, viscosity and pressure gradients, to all living creatures, which in turn have evolved an astonishing array of solutions. Many of these, such as paddles, valves and hydrostats, are so widespread that we rarely notice them. Others perform so well that we marvel at their superiority to man-made devices. Did you know that fleas can accelerate at  $2,000\text{m s}^{-2}$  – that's 20 times greater than the space shuttle during launch? That silk has a tensile strength similar to that of steel? Or that oak trees can*

*generate pressures of 500,000 Pa through evaporation? **Nature is a pretty impressive engineer.**“<sup>1</sup>*

*„...this book is tremendous fun to read. Vogel writes with an effervescent sense of delight in his subject. The text is laced with wit and humour, and sprinkled with eclectic examples of nature's many marvels. None of the fun, however, diminishes the clarity.“*

LIEBERMAN's abschließendes Urteil über das Buch könnte positiver kaum sein:

*„I hope that Vogel will inspire a new generation of college-level classes on biomechanics. For many, this book will*

*become a standard reference text, the sort of thumb-worn classic whose location on your shelf you instinctively know.“*

Um so interessanter ist LIEBERMAN's einziger Kritikpunkt:

*„In Vogel's world, plants and animals receive equal treatment in the context of the physical problems they encounter. In that sense, the comparative method he uses is based on problems of **physics, not evolutionary***

Francois Jacob

***relationships:** tubes are treated as tubes, regardless of what kind of organism they serve. **Regrettably, this perspective leaves little room to explore key problems in evolution.** Vogel mentions only in passing various debates on topics such as constraints, adaptation and the mechanisms by which organisms can or cannot alter in response to changes in their environment. Of particular note, he sidesteps the issue of optimization and the extent to which natural selection drives organisms towards supposedly better ways to overcome the challenges posed by their particular environments.“*

*„It's not a bug – it's a feature“ – zumindest aus der Perspektive aller Menschen, die sich in*

Bezug auf evolutionäre Erklärungen eine gewisse Skepsis bewahren. Es ist ein Genuß, sachliche und neutral formulierte Texte zu lesen – Texte die einem *eigene* Schlüsse ziehen lassen, anstatt bei jeder Gelegenheit evolutionäre Spekulationen einfließen zu lassen. Das ist meiner Meinung nach auch nicht die Aufgabe eines Buches über Biomechanik. Das Problem mit solchen Spekulationen ist oft, dass sie meist nicht über die Qualität von einfachen Geschichten hinwegkommen (das berühmte „darwinian/adaptive storytelling“<sup>2</sup>) und dabei nicht selten – wie die sie umgebenden harten Fakten über Aufbau und Funktion der Organismen – als Tatsachen dargestellt werden.

Wie auch immer: VOGEL läßt trotzdem keinen Zweifel daran aufkommen, welche Art von Ursprungserklärung er bevorzugt. Auf den Seiten 14-16 stellt er seine Ausführungen in den Kontext des Darwinismus. Interessant ist, dass er sich dabei – wie viele andere, die über Biologie schreiben – mit der Tatsache auseinandersetzt, dass in der Biologie ein massiver Eindruck von Zielgerichtetheit und damit Planung herrscht (für Details: RAMMERSTORFER 2004, vergl. auch Anhang <sup>7</sup>) Und wie viele andere kann auch Steven VOGEL nicht ohne den Begriff „Design“ arbeiten, stellt jedoch klar:

*„If the process of evolution is incapable of anticipation, that is, if it's blindly purposeless, the term „design“ misleads seriously – design ordinarily implies anticipation and purpose. **The problem isn't just terminological. Why do organisms appear to be well designed if they're not designed at all? Perhaps we should to begin by reviewing the logical scheme for which „evolution by natural selection“ is our facile encapsulation.**“ (S.14)*

Bemerkenswert ist ebenfalls, wie VOGEL dem Leser diesen Punkt auch später im Buch in Erinnerung ruft:

*„Evolution is a design process that, as in the first chapter of the Book of Genesis, makes something and then looks at it to see if it's any good. We noted back in our own first chapter that „design“ had linguistic problems, that it's more tolerable as a noun than as an active-voice verb, that we tacitly assert at one level the **paradoxical notion that we have designs that were not designed.** I bring up the point here because it will haunt most of what follows.“ (S.497)*

Wichtig für die folgende Diskussion ist, dass

VOGEL – ausgehend von dem (gewagten) Postulat, dass un gelenkte Prozesse für das volle Spektrum der biologischen Realität aufkommen – im Design von Lebewesen auch Anzeichen für die Erschaffung durch solche kurzsichtigen Prozesse zu erkennen glaubt. Konkret sind das Lösungen, die nicht optimal zu sein scheinen. Er räumt ein, dass die „guten Designs“ die „schlechten Designs“ verblässen lassen („*The good designs literally eat the bad designs.*“) und argumentiert, dass die „Designs der Natur“ ja suboptimal sein *müssen*, weil Perfektion eine unendliche Zahl an Generationen in einer statischen Welt erfordern würde. Für die kommende Abhandlung sind folgende Aussagen relevant:

*„Many good designs must not be available on the evolutionary landscape because they involve **unbridgeable functional discontinuities.** Obviously jury-rigged arrangements occur instead because they entail **milder transitions.**“ (S.15)*

VOGEL bezieht sich anschließend auf Stephen Jay GOULD's Buch „*The Panda's Thumb*“, worin er den *ad hoc*-Charakter vieler organischer Konstruktionen wiedergegeben sieht.

*„Finally, a fundamentally poorer but established and thus well-tuned design may win in competition with one that is basically better but still flawed.“ (S.15)*

Das ist der Kontext in dem VOGEL bespricht, welche Konstruktionen es in der Natur nicht gibt und warum es sie dort nicht gibt. Es ist ein ausdrücklich evolutionstheoretischer Kontext – mehr noch: Ein darwinistischer Kontext. Es würde jedoch den Rahmen dieser Betrachtung sprengen, um herauszufinden, ob ein anderer kausaltheoretischer Rahmen einen *echten* Unterschied in Bezug auf die Thematik („Suboptimales Design“) macht. Ich meine, dass das in Fallbeispielen ein ganz wichtiger Aspekt sein kann, aber in Grundsatzdiskussionen weniger. Schließlich geht es *immer* darum, dass ungerichtete Prozesse am Werk sind – und was nicht vorausschauend plant, wird keine „optimalen“ Lösungen zustande bringen. (Wenn es *überhaupt* Lösungen in Form neuer Designs zustande bringt, was man gut begründet anzweifeln kann.)

### **What Nature Doesen't – Radlose Natur?**

Ich möchte hier VOGEL's Argumentation anhand des Beispiels betrachten, dass in seinem Buch am ausführlichsten diskutiert

wird: Dem Rad.

Warum gibt es in der Natur keine Räder? Dieses Design ist doch ein Kernelement menschlicher Technologien – warum finden wir ein derart exzellentes Design in der organischen Welt nicht?

Diese Frage hat sich in *der Form* inzwischen erübrigt. VOGEL weist darauf hin, dass das Flagellum von Bakterien wirklich rotiert und von einem Rotationsmotor in der Zellwand betrieben wird (S.511). Trotzdem ist für ihn der Punkt noch nicht geklärt. VOGEL meint, dass der Bakterienrotationsmotor der einzige *klare Fall* eines Rades in der Natur ist – in dem Sinne als hier Rad und Achse in Bezug auf den Rest eines Organismus rotieren.

VOGEL stellt fest, dass trotz allem Räder in der Natur die Ausnahme zu sein scheinen. Was ist der Grund dafür? VOGEL bringt zunächst ein Argument von S.J.GOULD ins Gespräch:

*„Some years ago, Gould ... devoted one of his engaging essays to the subject of the scarcity of wheels, arguing the difficulty of evolving them de novo – moving through nonfunctional intermediates is not nature’s style, and it’s hard to see the beneficence of a partially evolved wheel.“(S.512)*

GOULD argumentiert laut VOGEL, dass die Seltenheit von Rädern in der Natur nicht daran liegt, dass sie als Transportmittel untauglich wären. GOULD meint ernsthaft, dass viele Tiere mit Rädern besser bedient wären. Die **„Überlegenheit“** und ihr Preis Begründung für das Fehlen dieses angeblich besseren Design ist vorhersehbar: *„animals are debarred from building them by structural constraints inherited as an evolutionary legacy.“*

Kurz: Das evolutionäre Erbe verhinderte leider die optimale Lösung; und Räder sind generell unwahrscheinliche Produkte ungerichteter Prozesse – Stichwort *„unbridgeable functional discontinuities“*. Zur Verdeutlichung sei hier auch die praktisch gleiche Argumentation von Richard DAWKINS (1996) wiedergegeben:

*„The fact that only very small creatures have evolved the wheel suggests what may be the most plausible reason why larger creatures have not. (...) But what would the evolutionary intermediates have looked like? Evolutionary improvement is like climbing a mountain*

*(“Mount Improbable”). You can’t jump from the bottom of a cliff to the top in a single leap. Sudden, precipitous change is an option for engineers, but in wild nature the summit of Mount Improbable can be reached only if a gradual ramp upwards from a given starting point can be found. The wheel may be one of those cases where the engineering solution can be seen in plain view, yet be unattainable in evolution because its lies the other side of a deep valley, cutting unbridgeably across the massif of Mount Improbable.“*

Ein Problem dieser Art „Erklärung“ ist sicher, dass sie einer näheren Betrachtung nicht Stand hält: Natürlich kommt man mit Rädern theoretisch viel schneller und effektiver voran als mit Gliedmaßen – aber darauf alleine kommt es nicht an: Es hat schon seine Gründe warum man sich in der Robotik intensiv damit befaßt, Maschinen mit Gliedmaßen auszurüsten. Gliedmaßen sind immer dann exzellent, wenn es darum geht in ein Terrain vorzudringen, das nicht auf die Benutzung durch Räder vorbereitet ist – eben „Offroad“! Was auf praktisch alle Designs zutrifft, trifft auch auf Räder zu: Eine *generelle* Überlegenheit von Rädern gibt es nicht. Wer schon einmal im Winter ausgestiegen ist, um sein Auto anzuschieben, weiß, dass es mit der „generellen Überlegenheit“ von Rädern nicht weit her ist. Gliedmaßen sind die perfekte „Allround-Lösung“: Man kann damit sogar in schwierigstem Terrain zurecht kommen,

Bergziegen etwa verzichten dankend auf Räder. Gliedmaßen sind ebenfalls sehr nützlich, wenn es darum geht sich schwimmend fortzubewegen. Auch

eher wasserscheue Lebewesen können in Situationen kommen, in den schwimmerische Fähigkeiten gefragt sind – mit Rädern wird das zum Problem. Sieht man von wenigen Ausnahmen - wie etwa Salzseen – ab, wäre das Rad für Tiere paradoxerweise gleichbedeutend mit einem *Verlust* an Mobilität, da die Räder eben nur in wenigen Terrains einen Vorteil böten, ein Tier aber mit vielen verschiedenen Terrains und Situationen fertig werden muß. Blicke noch eine Idee von DAWKINS zu erwähnen, der dieses Problem auch erkannt hat: Tiere hätten eben Straßen bauen sollen, was sie angeblich aus egoistischen Gründen nicht entwickeln konnten (weil andere Tiere die Straße mit



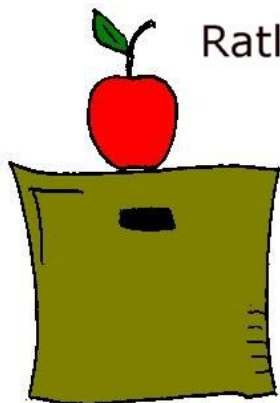
benutzen würden). Schließlich könnten viele Tiere ansonsten auch Bauwerke realisieren - warum nicht Straßen? DAWKINS meint:

*„The road should be child's play compared with the beaver dam or the bower-bird's ornamented arena. There are even some digger wasps that tamp soil hard, picking up a stone tool to do so. Presumably the same skills could be used by larger animals to flatten a road.“*

Darüber kann man geteilter Meinung sein. Denn: Wann lohnt sich der Aufwand eine Straße zu bauen? Nur wenn sie haltbar ist, d.h. wenn sie der Witterung trotzt und nicht alle paar Monate neu gezogen werden muss. Dazu soll sie - um für Räder tauglich zu sein - eine entsprechende Glätte und Oberflächenbelastbarkeit aufweisen.

(Ansonsten steigen Energieaufwand und Materialabnutzung) Solche Straßen sind ein Stück hochentwickelter Technik und benötigen viele Arbeitsgänge, ein immenser Aufwand. Zu der Straße kommt die *Straßenführung*. Der Bau einer Straße sollte mit einer cleveren instinktiven

Programmierung noch machbar sein (wenn auch der ökonomische Aspekt schon fragwürdig wird), aber eine vorausschauende und damit *effektive* Straßenführung benötigt einen Designer. Auf unserem Planeten gibt es genau ein Lebewesen, das das kann - den Menschen. Diese Spezies ist übrigens auch in der Lage sich in allen Lebenslagen mit Rädern auszustatten. Vom knochenbrechenden Rollschuh bis zum ressourcenvernichtenden Auto hat sie die ganze Bandbreite „radbasierter“ Fortbewegung realisiert. Erstaunlicherweise ziehen es die meisten Individuen dann trotzdem vor, die meiste Zeit „radlos“ zu existieren - sogar in urbanen Gebieten wo alle paar Meter eine Straße verläuft. Auch auf die Gefahr hin, dass die Komik langsam unübersehbar wird: Stellen wir uns einmal vor, dass es Tiere gibt die Räder haben und Straßen bauen. Nehmen wir Ratten mit Rädern an, die Straßen bauen. Die „Dawkins-Rad-Ratte“ baut also Straßen, von ihren Wohnhöhlen zu... - ja wohin eigentlich? Wohin könnte eine hochintelligente „Dawkins-Rad-Ratte“ ihr Straßennetz ziehen? Zu Futterstellen könnte man meinen. Nur leider



## Ratlos auf Rädern...



Frieder Meis 2004

liegt das Futter nicht immer am gleichen Platz, was zu einer regen, ununterbrochenen Straßenbautätigkeit führen dürfte. Denn abseits der Straßen haben „Dawkins-Rad-Ratten“ Probleme. Unebenes Gelände führt zu Achsbruch, bei Regen wird permanent der Abschleppdienst benötigt dazu kommt laut VOGEL *„on even slightly spongy terrain wheels lose any power advantage“*. (S.512) Kurz gesagt: Der „Dawkins-Rad-Ratte“ gingen viele Nischen und Nahrungsquellen verloren, die einzige neue Nahrungsquelle wären die Unfalltoten auf ihrem Straßennetz. Man könnte das Gedankenspielchen natürlich mit allen möglichen Landwirbeltieren in zahlreichen Varianten fortsetzen. Man könnte sich auch ein Tier mit (einziehbaren) Rädern, Gliedmaßen und Straßenbaufähigkeit ausmalen - der Phantasie sind bekanntlich

keine Grenzen gesetzt -, aber es dürfte schwer sein, derartige Designs (falls sie überhaupt machbar sind!) gegenüber den üblichen Designs als leistungsfähig zu begründen.

Auf diese Punkte macht im Prinzip auch VOGEL aufmerksam (wenn er auch nicht auf DAWKINS „Straßen-

Argument“ eingeht), es erscheint tatsächlich offensichtlich, dass das Rad in unserer Welt den Gliedmaßen in den meisten Fällen unterlegen ist.

(Generell ist zum Thema „Fortbewegung“ zu bemerken, dass das effektivste und eleganteste Fortbewegungssystem überhaupt in der Natur ja vielfach realisiert ist: Vögel und andere Flieger benötigen keine aufwendigen Straßen und können sich enorm schnell und kosteneffektiv fortbewegen.)

Aber halt: Müssen Räder immer als Fortbewegungsmittel dienen? VOGEL meint, dass sich GOULD's Argument damit nicht erledigt hat und führt aus:

*„Gould's point is not disproved - in a sense it's not subject to strict disproof. But his point is less self-evident than it has usually been regarded - the dominant constraint on the use of wheels in nature is as likely to be physical as it is to be due to some flaw in the adaptive ability of the evolutionary process. For that matter, Gould and*

LaBarbera argue only about why nature doesn't turn to wheels as final locomotory drivers. **But wheels don't just roll our vehicles around. Consider the marvelously versatile appurtenances of our rotary technology - gears, chains, belts, pulleys, cams, and crankshafts, to mention just a few. Nature makes none of these, nor any roller bearings, waterwheels, windmills, or turbines either. In none of these cases do their arguments apply. Do these omissions trace to difficulties of synthesis, sustentation with nutrients, nervous control, or repair; or do we just glimpse evolution's difficulty with adaptive gaps? Or do we glimpse what some paleontologists call "the privilege of incumbency" and economic historians (less pretentiously) call „lock in" - where an inferior design preempts the functional niche and blocks proliferation of a superior, or potentially superior, one?"** (S.512)

Bevor diese Argumentation einer genaueren Analyse unterzogen wird, scheint es wichtig, festzustellen inwieweit in der Natur Räder verbreitet sind, bzw. welche Beispiele bis heute bekannt sind.

### Der Bakterienrotationsmotor

Als ich die hier angegebenen Literatur zum „Radmangel" in der Natur gelesen habe, ist mir aufgefallen das sich keiner der Autoren Gedanken darüber zu machen scheint, wie ein Bakterienrotationsmotor evolvieren könnte. Bemerkenswert ist, dass in Bezug auf Räder von „unbridgeable functional discontinuities" gesprochen wird, aber niemand die Frage stellt, ob das nicht bereits beim Bakterien-rotationsmotor der Fall ist. Denn es wird ja einhellig eingestanden, dass hier eine Ausnahme von der „Regel" des „Radmangels" in der Natur besteht. „Simplifizieren" nennt sich die Antwort auf diese Merkwürdigkeit. So berichtet VOGEL über GOULDS Argumentation:

„He also noted the difficulties of arranging nutrient supplies, axe seals, and so forth -

**matters of little concern on the scale of bacteria."** (S.512)

Es wird hier der Eindruck erweckt, als würden mit dem Maßstab auch die grundsätzlichen Probleme schrumpfen. Für Leser die sich noch nie mit dem Bakterienrotationsmotor beschäftigt haben, mag es daher hilfreich sein, eine kurze Skizzierung dieses Systems zu erhalten (siehe Abb.1). Die Geißel (Flagellum) ist über ein winkelförmiges Verbindungselement (Hook) an eine Rotationsachse (Rod) gekoppelt. Diese Achse wird von Lagern in der Cytoplasmamembran und der Zellwand der Bakterienzelle in Position gehalten (Bushing). Die Bakteriengeißel wird über die Rotationsachse angetrieben, die ihrerseits über Antriebsproteine in Rotation versetzt wird (Stator). Weitere wesentliche Komponenten des Motors sind Synthese und Steuerung. Der Motor bezieht seine Energie aus einem Protonengradienten über der Cytoplasmamembran (inner (plasma) membrane), dabei wird ein Protonenfluß durch den Stator erzeugt, der die für den Betrieb nötige Energie liefert. Die Leistungen solcher Motoren werden von Steven M. BLOCK (1997) so zusammengefasst:

„Bacterial Motors are impressive devices

indeed - in some species, they turn at speeds in excess of 1,000 Hz, and they can propel cells at a rate of  $100 \mu\text{m s}^{-1}$  or more. Transposed into our own dimensions, if cars could drive at equivalent scale speeds, they would break the

**sound barrier."** (S.217)

Weiterführende Informationen zum Bakterienrotationsmotor (von *E.coli*) finden sich z.B. im „Kritischen Lehrbuch" (JUNKER & SCHERER 2001), wo darüber hinaus die Konsequenzen für die Vorstellung einer graduellen Evolution diskutiert werden. Animationen des Rotationsmotors sind unter <http://www.arn.org/mm/mm.htm> abrufbar.

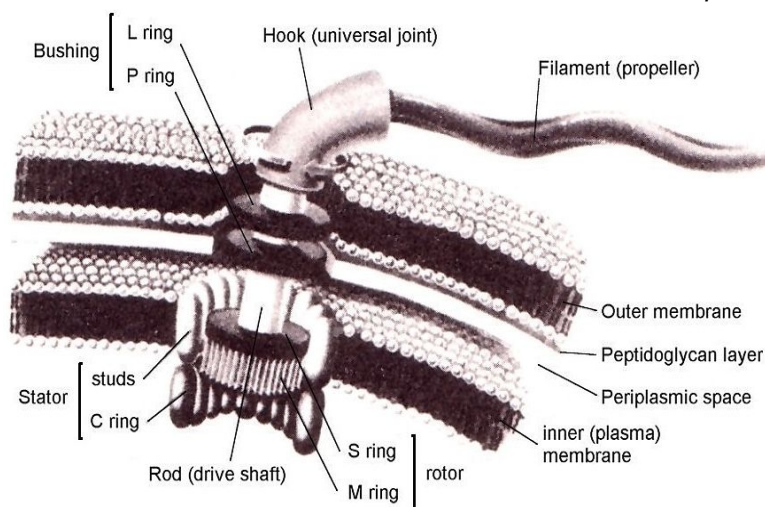


Abbildung 1 Rotationsmotor eines Bakteriums, verändert aus BEHE 1996 (S.71)

## ATP-Synthase – eine „geniale Proteinmaschine“<sup>13</sup>

Die ATP-Synthase ist ein großer membranverankerter Enzymkomplex und produziert das meiste ATP in unseren Körpern. (Adenosin-triphosphat ist in allen Zellen die wichtigste Form chemischer Energie.)

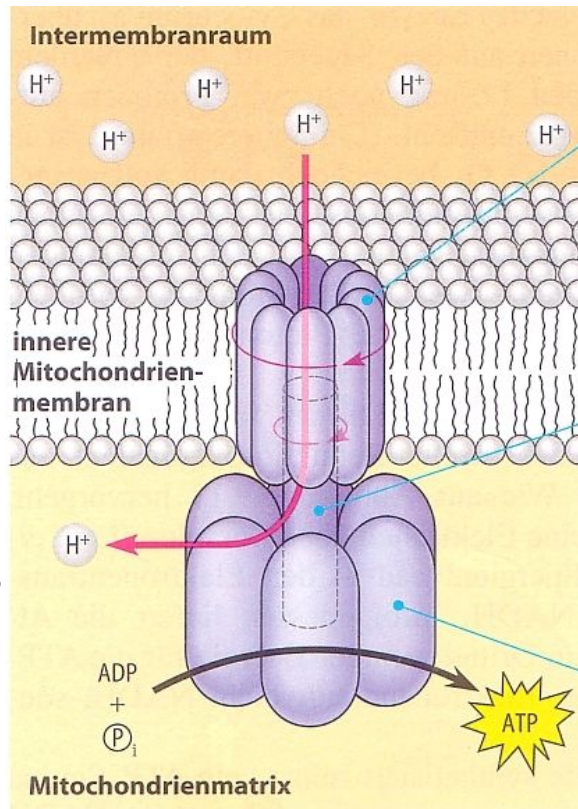
1997 wurde nachgewiesen, was bis dahin nur vermutet wurde: ATP-Synthase ist der kleinste Rotationsmotor der Welt (siehe Abb.2). NOJI *et al.* (1997) schreiben im Abstract des in *Nature* erschienen Artikels:

„Cells employ a variety of linear motors, such as myosin, kinesin and RNA polymerase, which move along and exert force on a filamentous structure. But only one rotary motor has been investigated in detail, the bacterial flagellum (a complex of about 100 protein molecules). We now show that a single molecule of  $F_1$ -ATPase acts as a rotary motor, the smallest known, by direct observation of its motion.“ (S.299)

Der Leser wird sich vielleicht noch erinnern können, dass Steven VOGEL oben behauptet hat, in der Natur gäbe es keine Wasserräder. In einem aktuellen Biologie-Lehrbuch (CAMPBELL& REECE 2003) wird die Funktion der ATP-Synthase so erklärt (es ist die Bildunterschrift zu Abb.2):

„Die ATP-Synthase: Ein molekulares Wasserrad. Die ATP-Synthase (auch "F-ATPase") ist ein Proteinkomplex und funktioniert wie ein Wasserrad, das von einem Protonenfluss angetrieben wird. Der Komplex liegt bei Eukaryoten in den Membranen der Mitochondrien und Chloroplasten, bei Prokaryoten in der Plasmamembran. Die ATP-Synthase besteht aus drei Hauptteilen: Rotor, Achse und Kopf. Jeder Teil setzt sich wiederum aus mehreren Proteinuntereinheiten zusammen. Der Kopf ist zusätzlich über einen hier nicht dargestellten Stator an der Membran fixiert, sodass er nicht mitrotiert. Dieser „kleinste Motor der Welt“ läuft in ruckartigen Intervallen von 120 Grad und rotiert pro Sekunde über 100 Mal. (Nach neuen Einsichten gleicht die genaue Funktionsweise am besten einem Ottomotor.)“

Abbildung 2 Die ATP-Synthase. Entnommen aus CAMPBELL&REECE 2003, S.198



Wenn  $H^+$  entsprechend seinem Gradienten fließt, dreht sich ein zylinderförmiger Rotor in der Membran.

Eine asymmetrische, mit dem Rotor verbundene Achse dreht sich im Kopf mit und versorgt so dessen aktive Zentren mit Energie, was zum Öffnen und Schließen von Bindungstaschen führt.

Ein aus der Membran ragender Kopf enthält drei aktive Zentren, die anorganisches Phosphat mit ADP verknüpfen und so ATP erzeugen.

„Protonen, die entsprechend ihrem Gradienten durch den Rotor fließen, versetzen diesen und mit ihm auch die Achse in Drehung, ganz ähnlich wie ein reißender Bach, der ein Wasserrad antreibt. Die Rotation der Achse verursacht im Kopf eine Konformationsänderung und aktiviert damit die aktiven Zentren, an denen ADP und anorganisches Phosphat sich zu ATP verbinden.“ (S.198)

Die „American Society for Cell Biology“ hat in Bezug auf die ATP-Synthase eine Mitteilung herausgebracht (YASUDA&KINOSITA 1999), in der es heißt:

„These experiments reveal the remarkable mechanical similarity between this Lilliputian bio-machine and the rotating water wheels used for centuries by humanity to harness the energy of falling water.“

### Mehr Räder?

DNA-Replikation ist ein unerhört komplexer Prozess. MCM-Proteinkomplexe spielen dabei eine wichtige Rolle. Sie fungieren als Helicasen, die den DNA-Doppelstrang entspiralisieren, und somit der DNA-Polymerase den Weg zur Replikation ebnet.

In Bezug auf diese MCM-Proteine gibt es jedoch einige Unklarheiten, deren Aufklärung die Entwicklung eines entsprechenden Funktionsmodells für die MCM-Proteine erfordert hat. Dieses Modell ist im Kontext „Räder & Natur“ besonders interessant. Ronald A. LASKEY & Mark A. MADINE (2003) schreiben:

„We draw on recent discoveries to argue that the MCM hexameric ring **is a rotary motor** that pumps DNA along its helical axis by simple rotation, such that the movement resembles that of a **threaded bolt through a nut**, and we propose that MCM proteins act at a distance from the replication fork to unwind DNA. This model would place DNA replication in a growing list of processes, such as recombination and virus packaging, that are mediated by ring-shaped ATPases pumping DNA by helical rotation.“ (S.26)

Sicher: Das alles ist noch ein *Modell* – die Rotation wurde noch nicht nachgewiesen -, aber es steht nicht alleine da:

„This model adds DNA replication to the **growing list** of DNA manipulations mediated by ring-shaped rotary motors that translocate DNA along its fibre axis by a helical rotation mechanism.“ (S.29)

Diese Liste ist im Detail in der Arbeit von LASKEY&MADINE einsehbar („DNA rotary motors“ S.29, Table 1).

Es wäre wohl kaum gewagt, wenn man vermutet, dass noch weitere Beispiele für echte Rotation in der Natur gefunden werden.

### Zwei Perspektiven

Oben wurde mit Zitaten von VOGEL, GOULD und DAWKINS die evolutionstheoretische Denkweise und Argumentation vorgestellt. Im Folgenden geht es zunächst darum, diese Denkweise zu hinterfragen. Anschließend dreht sich die Betrachtung darum, den designtheoretischen Standpunkt darzustellen – mit Augenmerk auf seinen heuristischen Wert.

### ...im Licht der Evolution



Scherer, S 1996: Entstehung der Photosynthese. Grenzen molekularer Evolution bei Bakterien? Hänssler

Behe, MJ 1996: Darwins Black Box. The Biochemical Challenge to Evolution. Simon&Schuster

Lönig, W-E 1998: Zehn Paradebeispiele gegen Zufallsevolution. Naturwissenschaftlicher Verlag Köln

Swift, D 2002: Evolution under the Microscope. Leighton Academic Press

Im Internet:  
<http://www.weloennig.de/Utricularia.html>  
<http://www.weloennig.de/CorCat.html>  
<http://www.arn.org/docs/odesign/od201/peeringdbb201.htm>  
[http://www.arn.org/behe/mb\\_ic.htm](http://www.arn.org/behe/mb_ic.htm)

Tabelle 1

Die zusätzliche Antwortoption, die das Paradigma „Evolution“ den Bioforschern zur Verfügung stellt, lässt sich so zusammenfassen: *Räder sind (stellvertretend für andere Fallbeispiele) so selten, weil ihre Entstehung evolutionär gesehen als sehr schwierig betrachtet werden muss. (Darum blockieren heute „zweitbeste“ Lösungen Nischen, in denen Räder eine überlegene Lösung darstellen würden.)*

Man erinnere sich z.B. an VOGEL's Aussage:

„Many good designs must not be available on the evolutionary landscape because they involve

**unbridgeable functional discontinuities.** Obviously jury-rigged arrangements occur instead because they entail **milder transitions.**“ (S.15)

Denkwürdig ist auch wie DAWKINS und GOULD begründen, warum Räder zumindest im Makrokosmos keine Rolle spielt: Ihre Argumentation läuft völlig logisch auf die Begründung hinaus, dass ein kurzsichtiger Evolutionsprozess Probleme mit Strukturen hat, für die keine Zwischenstufen denkbar sind.

Aus den Argumenten die gebracht werden, um evolutiv gesehen zu begründen, warum in der Natur „Radmangel“ herrscht, kann man als Evolutionskritiker Nutzen ziehen. Es ist im Kern nämlich *exakt* das Argumentationsmuster, welches Kritiker der Evolution gerne verwenden (Stichworte „Synorganisation“; „Irreduz. Komplexität“). VOGEL, GOULD und DAWKINS geben hier die offizielle Bestätigung, dass diese Argumentation wenigstens vom Prinzip her zutreffend ist.

Die einzige Differenz tritt auf, wenn man bedenkt, dass Evolutionskritiker diese Argumentation auf *real* existierende Strukturen anwenden, während Evolutionisten diese auf *hypothetische* Konstrukte (etwa Tiere mit Rädern) anwenden. Einige Beispiele für die Anwendung auf real existierende Strukturen finden sich in *Tabelle 1*.

Es ist nicht zu übersehen, dass das grundsätzlich selbe Argumentationsmuster, welches die genannten Evolutionstheoretiker verwenden, um zu begründen, warum gewisse Strukturen evolutiv nicht/selten entstanden sind, bei real existierenden Strukturen greift!

Man betrachte nur einmal den Bakterienrotationsmotor und stelle mit DAWKINS die Fragen:

*„But what would the evolutionary intermediates have looked like?“*

Wie sehen sie aus, die *selektionspositiven* Zwischenstufen eines Bakterienrotationsmotors? Womit hätte ein un gelenkter evolutionärer Prozess beginnen können? Was war zuerst da? Selbst wenn alle Proteinbausteine des Motors (merkwürdigerweise) schon irgendwo/irgendwie vorhanden gewesen wären: Man kann kaum ernsthaft annehmen, dass sich diese schlagartig zusammengefügt haben – die Frage nach funktionsfähigen Zwischenstufen bleibt.

*„Evolutionary improvement is like climbing a mountain ("Mount Improbable"). You can't jump from the bottom of a cliff to the top in a single leap. Sudden, precipitous change is an option for engineers, but in wild nature the summit of Mount Improbable can be reached only if a gradual ramp upwards from a given starting point can be found.“*

Und wo ist die „gradual ramp“? Der Berg in Form des Rotationsmotors ist real – doch wo ein „sanfter Aufstieg“ möglich wäre, ist nicht zu sehen. Trotz intensiver Erforschung der zur Diskussion stehenden Struktur. (Vergl. DEMBSKI 2004, speziell ab S.291) (Im Paradigma darwinistischer Evolution ist freilich ein Zirkelschluss denkbar: Die Tatsache das der Motor existiert, bezeugt die Existenz einer wie auch immer gearteten „gradual ramp“!)

In jedem Fall ist der Bakterienrotationsmotor austauschbar: Man kann genauso gut die ATP-Synthase, Utricularia, Nesselzellen, usw. einsetzen. Auch ein Blick auf diverse (nicht rotierende) molekulare Motoren dürfte sich lohnen (z.B. SCHLIWA&WOEHLKE 2003). Oder auf die hochkomplexen Mechanismen und Moleküle die in die DNA-Replikation involviert sind (z.B. BOWMAN *et al.* 2004). Und alles mit den Gedanken und Fragen von GOULD, DAWKINS und VOGEL im Hintergrund.

An diesem Punkt mag vielleicht eingewendet werden, dass durchaus bereits Systeme evolutionär erklärt wurden, zu denen auf den

ersten Blick keine „gradual ramp“ führt. Auch wenn es provokant klingt: Es kommt darauf an, was man unter einer „Erklärung“ versteht. Ein Paradebeispiel in diesem Zusammenhang ist etwa das Wirbeltierauge. Dies ist eine komplex synorganisierte Struktur, die ebenfalls die Frage nach einer „gradual Ramp“ aufwirft. Von evolutionstheoretischer Seite wird nun gerne argumentiert, dass diese Struktur im Sinne einer gradualistischen Erklärung gemeistert wurde. Zusätzlich nimmt man dann oft an, dass von dieser Struktur auf andere synorganisierte Strukturen extrapoliert werden darf. Ein Beispiel dafür findet sich in einer Rezension von DEMBSKI's Buch „No Free Lunch“ (Rowman&Littlefield, 2002) durch Brian CHARLESWORTH (2002). Es ist aufschlussreich zu beobachten, wie CHARLESWORTH es vermeidet, mit DEMBSKI's Primärargument (dem Bakterienrotationsmotor) für „Irreduzible Komplexität“ konfrontiert zu werden. Er erwähnt das „bacterial flagellum“ und meint:

*„... This is taken to imply that it could not have evolved via a series of functional intermediates. Again, this argument was considered by Darwin in his famous discussion of the eye. Darwin pointed out that, although we have no evidence about the actual historical course of events that led to the evolution of the vertebrate eye, we do have many different types of eyes represented among living animals, ranging from simple light-sensitive cells to the elaborate camera-like eyes of cephalopods and vertebrates. A series of gradual steps leading from the simplest up to the most elaborate eye can be reconstructed, each of which involves a light receptor that is of use to its possessor.“*

Damit soll suggeriert werden, dass das Problem im Grunde ja gelöst ist – für den Bakterienrotationsmotor müsste man lediglich noch eine Detailerklärung liefern. Nun geht es um den oben angesprochenen Punkt: Was versteht man unter einer Erklärung?

Wer die Modelle zur Evolution des Auges kennt, wird bemerkt haben, dass sich auf den ersten Blick recht plausible Zwischenstufen angeben lassen. Tatsächlich existieren die Augentypen, welche als mögliche Zwischenstufen zum Wirbeltierauge hin gehandelt werden in der Natur. Doch es hat sich gezeigt, dass die Plausibilität dieser Modelle mit dem Detailgrad der Betrachtung *abnimmt*. So stellt David SWIFT (2002) nach der kritischen Betrachtung einer sehr bekannten und gerne zitierten Arbeit zur

Augenevolution fest:

„From this account it is plain to see that the authors simply follow Darwin's view that biological tissues are innately plastic. The essence of their evolutionary model is that variations appropriate for an organism's evolutionary progress are sure to arise and, without any consideration given to the basis of those variations, it is assumed they can be inherited and enhanced; so that in principle there is no limit to the morphological change that can be accumulated in this way. **All that we have learned in the last 50 years of genetic mechanisms and the biochemistry of tissues is totally ignored.** Regrettably, this sort of blinkered reasoning is widespread among evolutionary biologists; and one cannot help thinking that the biochemistry is ignored not just as an oversight, but because it presents such a formidable hurdle – because to give it its proper weight would completely undermine their supposed evolutionary scenarios.“ (S.303)

Erklärungen, die zu Darwin's Zeit noch überzeugend wirken konnten, tun dies heute angesichts fundierterer Kenntnisse über das Leben nicht mehr. Heute wissen wir z.B., dass es die „simple light-sensitive cells“ nicht gibt. Anders als DARWIN weiß man heute, dass schon „einfache“ Lichtsensitivität keine Selbstverständlichkeit ist, sondern eine hochkomplexe biochemische Basis bedingt. (vergl. z.B. HELDMAIER&NEUWEILER 2003, ab S. 337; SWIFT 2002, S.302) In Wirklichkeit ergibt sich schon beim postulierten allerersten Schritt der Augenevolution die Frage nach einer „gradual Ramp“!

Diese und andere Punkte (siehe LÖNNIG 2002, NEUHAUS&ULLRICH 2000) machen offensichtlich, dass eine evolutionäre Erklärung für das Auge auf höchst unsicherem Grund steht – obwohl beim Auge immerhin Zwischenstufen vorstellbar wären.

Doch selbst wenn man – wie CHARLESWORTH zu meinen scheint – das Auge tatsächlich plausibel evolutionär erklärt hätte: Würde dies bedeuten, dass damit das Kernproblem der Synorganisation gelöst wäre? Wären mit dem Auge auch Rotationsmotoren usw. erklärt? Bei diesen Systemen erscheint es doch schon enorm schwer, sich auch nur *vorzustellen* wie sie schrittweise evolvieren hätten sollen! Eine „gradual ramp“ ist hier nicht einmal in vagen Umrissen ersichtlich. Das heißt zwar nicht, dass sie nicht existiert, jedoch haben diejenigen die Bringschuld, die ihre Existenz aus

irgendwelchen Gründen fordern oder vermuten.

Kurz gesagt: Bei obigen Einwand ist zu berücksichtigen, dass die Vorstellbarkeit einer „gradual Ramp“ alleine noch nicht bedeutet, dass diese tatsächlich auch existiert. Sinnvollerweise müssen sich die jeweiligen Evolutionsszenarios mit dem messen, was man über die Komplexität der jeweiligen Struktur, sowie über heute beobachtbare Evolutionsvorgänge weiß.

Damit ist es an der Zeit, den ersten wichtigen Einwand gegen eine evolutionäre Antwort auf die Frage, warum es verschiedene Konstrukte in der Natur *nicht* gibt, zu formulieren.

Das Problem der evolutionären Begründung ist, dass sie zwar logisch einwandfrei ist, jedoch nicht nur auf hypothetische Strukturen (wie makroskopische Räder) anwendbar ist, sondern auch – wie von Evolutionskritikern erfolgreich praktiziert (Beispiele in Tab.1) – auf real existierende Strukturen in der Natur.

Damit entsteht die paradoxe Situation, dass sich aus evolutionärer Sicht zwar logisch begründen lassen würde, warum gewisse Strukturen nicht existieren, aber die Begründung wie ein Bumerang wirkt, weil eine Trennung zwischen „hypothetischen Strukturen“ und „real existierenden Strukturen“ künstlich ist: Warum sollte man DAWKINS/GOULDS/VOGELS Argumentation nicht auch auf die biologische Realität anwenden? Warum nicht auch dort nach „unbridgeable functional discontinuities“ suchen?

Wenn diese Argumentation jedoch auch in der biologischen Realität greift – und danach sieht es aus –, dann ist eine evolutionäre Begründung für die Nichtexistenz diverser Designs völlig *beliebig*!

Ich sehe – ausgehend von der Prämisse, dass real existierende synorganisierte Strukturen irgendwie durch un gelenkte Naturprozesse zustande gekommen sind – folgende Möglichkeiten dem Problem zu begegnen:

a) Es existiert doch eine „gradual ramp“ zu real existierenden Strukturen, Synorganisation ist bloßer Anschein, komplexe Systeme lassen sich in ausreichend kleine Schritte aufteilen, die mit den bekannten Evolutionsprozessen erreichbar sind.

*Anmerkung zu a):* Zum heutigen Zeitpunkt ist nicht einzusehen, warum dem so sein sollte. Theoretisch, experimentell und von den

Fossilbefunden her stehen dem wesentliche Befunde entgegen, bzw. existieren keine aussagekräftigen unterstützenden Befunde. Zudem: Wenn sogar zu Nesselzellen, molekularen Wasserrädern, Rotationsmotoren usw. eine „gradual ramp“ führen soll, dann kann man sich durchaus fragen, ob es überhaupt irgendeine Konstruktion geben kann, zu der keine „gradual ramp“ führt. Vielleicht hatten GOULD und DAWKINS einfach nur zu wenig Phantasie sich eine auszumalen? Vielleicht ist „die“ Evolution ein Stück „kreativer“ als man vermuten würde – ihre bisherigen Resultate ließen jedenfalls vermuten, dass „unbridgeable functional discontinuities“ eher eine reine Kopfgeburt als eine real existierende Einschränkung für evolutive Prozesse sind.

Zur Möglichkeit a) ist somit zu sagen, dass sie derzeit aufgrund der Datenlage nicht ernsthaft zu erwägen ist. Und selbst wenn dem eines Tages so wäre, bliebe immer noch zweifelhaft, ob damit eine überzeugende Begründung der Nichtexistenz gewisser Strukturen in der Natur möglich wäre.

b) Bisherige (darwinistische) Vorstellungen zur naturalistischen Entstehung neuer Strukturen sind entweder sehr unvollständig oder durch gänzlich neue Konzepte zu ersetzen. Komplexe Synorganisation entsteht nicht/nur zum Teil über „gradual ramps“ - andere Wege müssen gefunden werden.

*Anmerkung zu b):* In diesem Fall ist es natürlich nicht möglich, über spezielle evolutionäre Begründungen zur Nichtexistenz versch. Konstruktionen zu spekulieren. Dies ist erst auf Basis von Konzepten zur Erklärung von makroevolutiven Prozessen möglich. Vielleicht ermöglichen diese dann – im Gegensatz zu a) – eine überzeugende Extrapolation auf die Fragestellung dieses Artikels.

Angeblich soll nichts einen Sinn ergeben, sofern es nicht im Licht der Evolution betrachtet wird (Dobzhansky). Mindestens in Bezug auf die Frage nach dem Grund der Nichtexistenz gewisser Strukturen in der Biologie, ist jedoch völlig unklar, wohin das sinngiebende Licht einer evolutionäre Perspektive eigentlich strahlt.

Sicher: Eine evolutionäre Erklärung ist schnell zur Hand. Aber ist diese auch konsistent, wenn man einmal für kurze Zeit versucht einen Blick von *außerhalb* des Paradigmas Evolution darauf zu werfen? Ein weiterer Gesichtspunkt ist die Heuristik: Könnte es nicht sein, dass uns historische Erklärungsansätze evolutionärer Art

gelegentlich die Sicht auf wichtige funktionelle Zusammenhänge in der Organismenwelt verstellen? Darüber hinaus erhebt sich die grundsätzliche Frage was eine evolutionäre Perspektive Positives einbringt, wenn es darum geht „funktionelle Zusammenhänge“ in der Organismenwelt zu entdecken. (Siehe<sup>4</sup>)

### **...aus designtheoretischer Perspektive**

Die Frage, warum gewisse Strukturen in der Natur nicht existieren, führt logisch zu der Aufgabe, herauszufinden, welchen Zwängen die Konstruktionen in der Natur unterworfen sind. Wie auch von VOGEL (etwa im Falle des Rades im Makrobereich) erwähnt, gibt es Gründe anzunehmen, dass gewisse Strukturen in der Natur aus technischen Gründen nicht realisierbar oder sinnvoll sind.

Als ID-Vertreter hat man kein Problem damit, die biologische Welt als Ausdruck einer sehr komplexen Technologie zu verstehen. Jede Technologie hat Vorzüge, aber auch Nachteile, die Ausdruck gewisser Konstruktionszwänge sind: Ein Konstruktionsproblem oder eine Konstruktionsanforderung, welche im Rahmen der einen Technologie leicht lösbar/erfüllbar ist, mag im Rahmen einer anderen nur schwer oder gar unmöglich lösbar/erreichbar sein. So muss man sich – nur ein Beispiel - bei organischen Konstruktionen in jedem Fall fragen, ob die gewünschte Struktur im Rahmen einer Ontogenese überhaupt erreichbar ist. (Dazu müsste man freilich die Gesetzmäßigkeiten solcher Prozesse genauestens kennen.) Umgekehrt wäre dieselbe Struktur für typisch menschliche Technologien vielleicht leicht erreichbar – während Reproduktionsfähigkeit und Variabilität dafür ein riesiges Problem darstellen würden.

Das soll auch auf den Punkt hinweisen, dass es gefährlich wäre, Natur und Technik 1:1 vergleichen zu wollen. Genauso wenig wie BIONIK bedeutet, von der Organismenwelt zu kopieren<sup>5</sup> kann man den umgekehrten Weg gehen und die Segnungen menschlicher Technologien „ungefiltert“ in die Biologie übertragen. Diesen Fehler haben ja auch GOULD und DAWKINS (nicht jedoch VOGEL) gemacht, wie oben (gezwungenermaßen hart an der Grenze zur Satire) gezeigt wurde.

Das soll natürlich nicht bedeuten, dass die Frage nach dem Grund der Nichtexistenz gewisser Strukturen in der Natur zwecklos ist. Vom Prinzip her eröffnet sie hochinteressante

Fragestellungen, wie man sich bei VOGEL überzeugen kann. Steven VOGEL führt immer auch funktionelle Begründungen ins Feld, er beantwortet die Frage nach der Nichtexistenz gewisser Konstruktionen keineswegs automatisch evolutionär. Bei VOGEL sind solche evolutionären Deutungen – neben all den funktionell verständlichen (und großteils noch zu erforschenden) Konstruktionszwängen – praktisch ein potentiell möglicher zusätzlicher „Zwang“.

Dieser „Zwang“ wurde im letzten Kapitel kritisch gewürdigt. Nun geht es darum, herauszufinden welches „Licht“ der Design-Gedanke auf den Punkt „*What Nature Doesn't*“ wirft – und ob dieses „Licht“ weniger diffus ist als die evolutionären Beleuchtungsversuche.

In der ID-Perspektive existieren „*unbridgeable functional discontinuities*“ nicht. Schwer vorstellbare Zwischenstufen spielen in einem geplanten, zielgerichteten Prozess keine Rolle. Also sind aus ID-Perspektive keine historischen Zwänge für das Fehlen gewisser Strukturen verantwortlich.

In der Konsequenz wird sich der Fokus eines ID-Theoretikers, der an dieser Fragestellung arbeitet, auf funktionelle Begründungen für die Nichtexistenz gewisser Strukturen konzentrieren. Nahe liegend wäre es diesbezüglich, soweit dies technisch möglich ist, auch auf „*Reverse Engineering*“ zurückzugreifen. Es kann schließlich leicht sein, dass man gewisse Eigenheiten einer Konstruktion nur begreift, wenn man selber versucht, vergleichbares zu konstruieren. Vielleicht lässt sich erst dann – wenn die Perspektive eines Designer total verinnerlicht wurde -, beantworten, warum gewisse Dinge in der Natur so sind wie sie sind! (Warum etwa Räder im Makrobereich nicht eingesetzt werden...) Heuristisch gesehen ist dieser Fokus exzellent. Es besteht ebenfalls nicht die geringste Gefahr, sich durch evolutionäre Spekulationen den Weg zu tieferen Erkenntnissen über Aufbau&Funktion der Organismenwelt zu versperren.

Die Frage nach dem heuristischen Wert von „ID“ ist hier also ohne Zweifel positiv zu beantworten. Stellt sich die Frage nach der Falsifizierbarkeit – welche testbaren Vorhersagen bringt der ID-Gedanke in diesem Bereich?

Ich habe Steven VOGEL oben mit den Worten zitiert:

„*Finally, a fundamentally poorer but*

*established and thus well-tuned design may win in competition with one that is basically better but still flawed.*“

Das ist evolutionär gesehen eine völlig logische Erwartung. Ausgehend von einer planenden Instanz anstatt un gelenkter Mechanismen, sollte die Natur jedoch ein anderes Bild bieten.

*Es sollte in der Regel die jeweils bestmögliche Lösung realisiert sein.*

Dazu sind grundsätzlich drei Punkte zu berücksichtigen:

A) „*In der Regel*“ deshalb, weil aus ID-Perspektive nicht gesagt werden kann, dass der/die Designer Ziel und/oder Fähigkeit haben, „perfekt“ (im Sinne von „bestmöglich“) zu designen. Trotzdem bleibt klar Erwartung von „bestmögliche Lösungen“ - die Natur sollte insgesamt nicht das Bild bieten, als wäre sie „hingepfuscht“ - der Gesamteindruck sollte also nicht auf einen „tinkerer“ hindeuten. Wäre dem doch so, würde das zuletzt schwer gegen intelligentes Design in der Organismenwelt sprechen: Was sollte man von Planern halten, die anscheinend problemlos hoch komplizierte Systeme realisieren, um dann auf der anderen Seite bei simplen Problemstellungen zu versagen?

B) „*Bestmöglich*“ deutet darauf hin, dass es oft nicht möglich ist, die „beste Lösung“ zu realisieren. Die „beste Lösung“ für ein Konstruktionsproblem (etwa bei der Fortbewegung) kann eine Lösung sein, die durch Konstruktionszwänge auf anderen Gebieten verhindert wird. Optimalität ist relativ und hängt vom Standpunkt der Betrachtung ab. (Optimal kann z.B. auch eine Lösung sein, die nicht für alle Situationen perfekt ist, aber dafür ein breites Anwendungsspektrum hat. D.h. universelle Lösungen können individuellen Lösungen im Gesamten überlegen sein.) Ist dieser falsch oder zu eingengt (wie bei DAWKINS oben) findet man problemlos Fälle von „suboptimalen“ bzw. „zweitbesten“ Designs in der Natur. Es gilt, sich die Bedeutung des Wortes „Designkompromiss“ zu verinnerlichen. Die Welt in der wir leben, basiert auf Naturgesetzen. Diese „Spielregeln“ führen letztlich automatisch zu Kompromissen in Designs. Weitere Zwänge erzeugt der Designer selbst – in dem Augenblick wo er ein Konzept entwirft, erzeugt er auch Zwänge. Dadurch ist es – zumindest in unserem Universum – unmöglich, Dinge zu schaffen, die in jedem

Sinne „optimal“ sind. Optimal ist in Wirklichkeit nur eine Konstruktion die unter den gegebenen Umständen bestmöglich ist!

C) Designs haben prinzipiell eine Geschichte. Man kann aus ID-Perspektive nirgendwo her logisch ableiten, dass sich ein geschaffenes Objekt noch im Originalzustand befinden muss. Dazu müsste man erst das Postulat aufstellen, dass der Designer die *Absicht* hatte unveränderliche Dinge zu schaffen. Aus ID-Perspektive gilt: Natürliche Prozesse wirken auch auf Artefakte, es liegt also nie gänzlich das ursprüngliche Design vor, sondern nur das was davon übrig geblieben ist.

Hier geht es jedoch nicht darum, die Frage nach Suboptimalität innerhalb einer gegebenen Konstruktion nachzugehen, sondern die grundsätzliche Berechtigung einer Konstruktion in Frage zu stellen.<sup>6</sup> C) ist somit in dieser Diskussion nicht unmittelbar wichtig.

### **Rad & Co. im Lichte von ID**

Was bedeuten diese theoretischen Ausführungen in der Praxis – angewendet auf den „Aufhänger“ dieses Artikels, dem Rad?

Der erste Teil der Frage, warum es in der Natur keine Räder gibt, bezog sich auf den makroskopischen Bereich und auf Fragen der Fortbewegung mit Rad und Achse.

Der spezifisch evolutionstheoretische Antwortversuch (kurz: Unfähigkeit kurzsichtiger evolutionärer Prozesse) war/ist nicht nur inkonsistent, sondern auch durch eine rein funktionelle Erklärung ersetzbar:

1) Organismen mit Rädern hätten zahlreiche, einfach nachvollziehbare Nachteile. Wie oben diskutiert, sind Gliedmaßen die bessere Lösung. Zudem: Einige Lebewesen machen sich die Vorteile rollender Fortbewegung durchaus zunutze *ohne* deren Nachteile im Sinne einschränkender und aufwändiger Radsysteme zu erleiden.

2) Sind Radsysteme im Makrobereich bei Organismen überhaupt *technisch* machbar? Ich habe dazu nirgendwo detaillierte Abhandlungen gefunden, nur oberflächliche Vorstellungen. Die Bringschuld haben diejenigen, die behaupten dies sei möglich. (Weil organische und heutige technische Konstruktionen in vielen Bereichen sehr verschieden sind – es ist evident das beides verschiedene Grenzen und Möglichkeiten hat.)

Der zweite Teil der Frage bezog sich auf andere Anwendungen für Räder.(s.o.) Auch hier zieht VOGEL (S.512, oben ausführlich zitiert) u.A.

die Möglichkeit in Betracht, dass „*evolution's difficulty with adaptive gaps*“ für den scheinbaren Radmangel in der Natur verantwortlich ist. Oder auch das „*an inferior design preempts the functional niche and blocks proliferation of a superior ... one*“.

Speziell in Bezug darauf sollte man jedoch auf die biologische Realität verweisen: Hier entdeckt man Rotationsmotoren in verschiedensten Funktionen - Antrieb einer Bakteriengeißel, Funktion als „molekulares Wasserrad“, DNA-Replikation. VOGELs Argument wird dadurch signifikant geschwächt. Haben die blinden evolutionären Abläufe hier wieder einmal ihre „*difficulty with adaptive gaps*“ „vergessen“? Und vor allem: Räder existieren zu verschiedensten Zwecken in der Natur – sie sind nach heutigem Wissen nur selten, bzw. kommen nicht in so offensichtlicher Form wie in der menschlichen Technik vor!

Weiter erhebt sich die Frage, wo VOGEL *konkrete* Vorschläge bringt. Wo gibt er spezifische Vorschläge dafür, an welcher Stelle man radbasierte Technologien anstatt der jeweils in der Natur verwendeten Systeme einsetzen könnte? Und zwar so, dass die Lösung im Gesamtkontext optimaler als die realisierte Lösung ist. VOGEL führt zwar aus welcher Segnungen Ketten, Nocken, Rollen, etc. in der menschlichen Technologie sind, bleibt uns jedoch konkrete Vorschläge für deren sinnvolle Anwendung in der Natur schuldig. (Was übrigens auch für alle anderen Fallbeispiele seines Kapitels „*What Nature Doesn't*“ gilt und nicht nur für Räder als das in VOGELs Buch am ausführlichsten diskutierte Beispiel.)

Ein Beispiel: Angenommen, man ist ein Konstrukteur. Man hat irgendeine Apparatur designed und es dauert nicht lange, bis ein erster Kritiker die neue Schöpfung inspiziert. Der Kritiker äußert sich verwundert darüber, warum man Systeme X, Y und Z nicht für die Konstruktion verwendet hat. Er habe, so meint er, schließlich auch schon eine Menge konstruiert, wobei er X, Y und Z als wunderbare, unverzichtbare Komponenten schätzen gelernt hat. (Zusätzlich mutmaßt er vielleicht etwas stolz, er wäre der einzige Erfinder von X, Y und Z) Doch der Kritiker geht ein paar Schritte weiter: Er vermutet, dass man intellektuell zu wenig ausgestattet war, um auf X, Y und Z zu kommen.

(„*evolution's difficulty with adaptive gaps*“) Es kommt noch besser, der Kritiker denkt sich eine alternative/erweiterte Möglichkeit: Man

sei einfach zu unbesonnen im Basisdesign gewesen. So habe man einfach drauflos gebastelt (=„tinkerer“) um leider viel zu spät festzustellen, dass X, Y und Z bessere Lösungen gewesen wären. Da man dann aber die halbe Konstruktion neu aufziehen hätte müssen, habe man es bei der „zweitbesten“ Lösung belassen. Was soll man als Designer darauf sagen? Falls man angesichts derartiger Unterstellungen nicht purer Polemik verfällt, wäre es effektiv, den Kritiker danach zu fragen, ob seine Ausführungen an einem *konkreten* Beispiel im *Detail überzeugend* demonstrieren kann. Wenn er das nicht kann, hat er ein Problem. Denn dann bleiben nur noch zwei Optionen: Im Kontext der eigenen Konstruktion sind X, Y und Z einfach nicht nötig – oder/und man hat sogar bessere Lösungen entwickelt!

(Der „Kritiker“ wird in dieser Analogie nicht von VOGEL verkörpert, weil er immer auch auf funktionelle Aspekte hinweist. Der „Kritiker“ versinnbildlicht die „evolutionäre Perspektive“)

Im „Lichte von ID“ ist jedenfalls zu erwarten, dass die jeweiligen Lösungen bestmöglich sind: Radbasierte Technologien existieren nicht, wenn ihrer Realisierung a) technische Probleme im Weg stehen b) sie anderen Lösungen gegenüber unterlegen sind. Ansonsten wird man Räder finden – eben immer dann wenn sie machbar und „bestmöglich“ sind. Und da in dieser Hinsicht im mikroskopischen Bereich vermutlich bessere Voraussetzungen gegeben sind als auf der makroskopischen Ebene, wird man dort auch noch mehr Beispiele für radbasierte Technologien finden.

Grundsätzlich lassen sich diese Überlegungen auch bei allen anderen von VOGEL gebrachten Fallbeispielen anwenden. Vielleicht ist es einigen biologisch & ingenieurstechnisch versierten ID-Vertretern einmal möglich, diese Beispiele im Detail zu bearbeiten?

### **Fazit**

Es klingt sehr beeindruckend, wenn etwa Ernst MAYR (2003) mitteilt:

*„Wie (...) dargelegt wurde, liefern alle Teilgebiete der Biologie unwiderlegliche Belege für die Evolution. Oder, wie der berühmte Genetiker T. Dobzhansky es zu Recht formulierte: „Nichts in der Biologie hat einen Sinn, außer im Licht der Evolution.““ (S.61)*

An dieser Stelle ist es weder möglich noch notwendig MAYRs Belege, bzw. *Interpretationen* der biologischen Realität kritisch zu betrachten. Die Praxis erweckt ohnehin einen wesentlich unspektakuläreren

Eindruck. Oder wie Adam S. WILKINS (2000) dies formuliert:

*„The subject of evolution occupies a special, and paradoxical, place within biology as a whole. While the great majority of biologists would probably agree with Theodosius Dobzhansky’s dictum that ‘nothing in biology makes sense except in the light of evolution’, most can conduct their work quite happily without particular reference to evolutionary ideas. ‘Evolution’ would appear to be the indispensable unifying idea and, at the same time, a highly superfluous one.“ (S.1051)*

Wenn WILKINS auch meint, dass sich das ändert, so bleibt doch die einfache Feststellung das weit über ein Jahrhundert evolutionäres Denken auf die *biologische Forschung* an sich weniger Effekt als gedacht hatte. Das wäre undenkbar, wenn in der Biologie ohne evolutionäre Beleuchtung nichts einen Sinn ergäbe. (Davon ausgenommen ist selbstredend das umfangreiche Gebiet mikroevolutiver Prozesse – um hier zu forschen muss man Evolution als Gesamtkonzept nicht teilen!)

So wie WILKINS es beschrieben hat, scheint es auch in Bezug auf die hochinteressante Fragestellung nach der fehlenden Realisierung gewisser denkmöglicher Konstruktionen in der Natur zu sein. Es ist hier zwar grundsätzlich möglich aus einer evolutionären Perspektive an die Frage heranzugehen, aber wo die Vorteile liegen könnten ist unklar.

Die ID-Perspektive ist hier besser. Sie bringt klare Erwartungen an die biologische Realität mit und bietet einen starken Anreiz die funktionellen Aspekte lebender System zu verstehen. Sie gibt sogar einen naheliegenden Pfad vor, der hilfreich sein sollte ein solches Verständnis zu erreichen. Nämlich die Dinge bewusst aus dem umfassenden Blickwinkels eines Ingenieurs zu betrachten – was auch immer das im jeweiligen Fall bedeuten mag.

Um Missverständnissen vorzubeugen: Man kann gute Biologie auch betreiben, ohne sich über ID Gedanken zu machen. Die Perspektive eines Ingenieurs/Designers steht selbstverständlich *auch* Forschern offen, die die gesamte biologische Realität als Sproß ungelinkter Prozesse sehen, oder in der Ursprungsfrage keine Entscheidung treffen. Zudem können auch im Rahmen eines evolutionären Paradigmas darwinscher Prägung historische Erklärungsversuche funktionelle Erklärungen vermutlich nicht auf Dauer verdecken. (Beispiel in *Anhang 4*)

Nur sind das alle Arbeitsmethoden und Ansätze die ausgezeichnet zum ID-Ansatz passen – sie sind eine logische Konsequenz daraus. (Und könnte die Organismenwelt nicht auch ein ganz anderes Bild bieten? Könnten Organismen etwa nicht derart krude zusammengeschnitten sein, dass jeder Versuch, sie aus dem Blickwinkel eines Ingenieurs zu betrachten, nur zu Verwirrung führt?) Es liegt nun an den Vertretern des ID-Ansatzes, die Stärken ihrer Sichtweise auf konkrete Fragen und Problemstellungen der biologischen Forschung anzuwenden. Die Frage nach der Nichtexistenz gewisser Designs in der Natur ist hier nur ein Thema. □

### Anmerkungen:

**1 („Suggestionen“):** Was für das Zitat von LIEBERMAN gilt, gilt für fast alle anderen Zitate in diesem Text ebenfalls: Die Autoren denken im Paradigma „Evolution“ und haben deshalb kein Problem damit, Dinge, die eigentlich zur Debatte stehen als gegeben zu betrachten. LIEBERMAN formuliert exakt so, als wäre er Augenzeuge gewesen, als ungelentete Prozesse die Dinge hervorgebracht haben, die er sinngemäß als „beeindruckende Ingenieurskunst“ einstuft. LIEBERMAN hat nun nachweislich nicht das dafür notwendige Alter, noch eine Zeitmaschine im Keller, sodass klar wird, dass sich seine Formulierungen nicht aus Beobachtungen, sondern aus Vermutungen über die Geschichte des Lebens nähren. Die für viele Evolutionisten so typischen Tatsachenformulierungen finden sich auch in deren naturwissenschaftlichen Ausführungen – sie beziehen ihre Überzeugungskraft ja gerade aus diesem Kontext. Und je mehr man solche Texte liest, desto stärker wird einem suggeriert, dass Evolution in jeder Hinsicht eine nicht mehr zu hinterfragende Tatsache ist – ohne das dafür überzeugende Sachargumente benötigt werden. Mein Vorschlag wäre, soweit als möglich *neutral* zu formulieren (Perfektion verlangt niemand!) oder/und die Denkvoraussetzungen unter denen man arbeitet, immer wieder mal hervorzuheben.

**2 („Storytelling“):** Es wäre vorschnell die Begriffe „darwinian storytelling“ bzw. „adaptive storytelling“ als Polemik von Evolutionskritikern abzutun. Es geht dabei darum, dass man sich aufbauend auf den Faktoren Mutation und Selektion so ziemlich für alle Dinge einen Entstehungsweg ausdenken kann – manchmal ist es eben schwieriger und in anderen Fällen scheint es wieder einfacher. Es geht dabei primär darum, sich Selektionsvorteile

auszumalen – das Limit dabei ist eigentlich nur die eigene Vorstellungskraft. Die Problematik ist gelegentlich auch unter überzeugten Evolutionisten erkannt und aufgegriffen worden. Ein Beispiel wäre Egbert Giles LEIGH (1999): „*From 1909 onwards, too many biologists behaved as if „to imagine a use for an organ is ... equivalent to explaining its origin by natural selection without further enquiry. Gould and Lewontin ridiculed this approach as adaptive "storytelling". Indeed, some biologists seemed merely to substitute natural selection for God as an omnipotent agent of adaptation.*“ (S.496)

**3 („Genialität“):** Das Zitat „*geniale Proteinmaschine*“ im Kontext: „*Die Synthese ist in der Lage, mehr als 100 ATP-Moleküle pro Sekunde zu synthetisieren; für jedes produzierte ATP-Moleküle [SIC] müssen etwa drei Protonen durch diese **geniale Proteinmaschine** strömen.*“ (S.447, ALBERTS *et al.* 2001)

**4 („Im Lichte der Evolution: Sinngelbend oder blendend?“):** Hier ein Sachbeispiel, bei dem sich die oben formulierten kritischen Anfragen in Bezug auf den heuristischen Wert einer evolutionären Perspektive aufdrängen (f. ein weiteres Beispiel siehe RAMMERSTORFER 2003). Anlässlich einer Forschungsarbeit von WILSON *et al.* (2001) hat R. McNeill ALEXANDER (2001) darauf aufmerksam gemacht, dass man für angeblich funktionslose Muskeln in Pferdefüßen Funktionen gefunden hat. Es wird darauf hingewiesen, dass die Arbeit von WILSON *et al.* eine mögliche Funktion dieser Muskeln als Stoßdämpfer nahelegt. Die für funktionslos gehaltenen Muskeln fangen relativ hochfrequente – und wahrscheinlich schädliche – Vibrationen auf. Diese entstehen, wenn der Fuß auf den Boden aufschlägt. Hier einige Zitate aus der Arbeit von ALEXANDER:

„*Some muscle fibres in the legs of horses seem to be **evolutionary leftovers** with no function. But **in fact** they may act to damp damaging vibrations generated in the leg as the horse runs.*“ (S.855)

„*Wilson et al. have found an **important role** for a muscle that seemed to be the relic of a structure that had **lost its function in the course of evolution. Their work makes us wonder whether other vestiges (such as the human appendix) are as useless as they seem.***“ (S.857)

Um es in Anlehnung an das berühmte Zitat „*Nichts in der Biologie hat einen Sinn, außer*

im Licht der Evolution“ von Dobzhansky etwas polemisch zu formulieren: Wo genau hat hier das „Licht der Evolution“ seine „sinngabende“ Funktion wahrgenommen? Ist es nicht viel mehr so, dass man den Sinn anscheinend funktionsloser Muskeln trotz der evolutionären Beleuchtung (also die historische Erklärung für Funktionslosigkeit) entdeckt hat?

Und wie ALEXANDER im letzten Zitat schon angedeutet hat: Wäre es auch in anderen Bereichen möglich, dass scheinbar nutzlose Elemente in Lebewesen einen Sinn haben?

Hier könnte man eine ganze Reihe an Beispielen bringen, wo auf Makroevolution basierende Deutungen die Erklärung für anscheinende Funktionslosigkeit (oder auch scheinbare Unstimmigkeiten in der Kosten/Nutzen-Bilanz) eines Organs stellen.

(Evolutionär gesehen ist ja i.d.R. auch nicht weiter problematisch Funktionslosigkeit oder tiefgehende Unstimmigkeiten in der Funktionsweise eines Organs anzunehmen – schließlich kann man einem ungelenkten Prozess nicht das gleiche zutrauen, wie einem Ingenieur. Allerdings scheint es auch kein wirkliches Problem zu sein, wenn man „gutes Design“ findet. Ein Beispiel (ALON 2003): „*Francois Jacob pictured evolution as a tinkerer, not an engineer. Engineers and tinkerers arrive at their solutions by very different routes. Rather than planning structures in advance and drawing up blueprints (as an engineer would), evolution as a tinkerer works with odds and ends, assembling interactions until they are good enough to work. It is therefore wondrous that the solutions found by evolution have much in common with good engineering design. This Viewpoint comments on recent advances in understanding biological networks using concepts from engineering.*“ S.1866)

Bleibt nur zu hoffen, dass diese Deutungen keinen Wissenschaftler davon abhalten, weitere Forschungen anzustellen. Oder in Anlehnung an Dobzhansky: Das das „sinngabende“ evolutionäre Licht die biologische Realität nicht überstrahlt!

**5 („Definition BIONIK“):** Werner NACHTIGALL (2002) gibt folgende Arbeitsformulierung für die BIONIK: „Lernen von der Natur für **eigenständiges** technisches Weiterarbeiten“ (S.3)

In einer populärwissenschaftlichen Publikation (2001) gibt NACHTIGALL (zusammen mit Kurt G.BLÜCHEL) noch folgende Hinweise:

„Wir können die Natur nicht eins zu eins kopieren, aber viele ihrer Grundprinzipien könnten in eine zukunftsweisende Technik einfließen. (...) Um eines aber auch ganz deutlich zu sagen: Die Natur stellt dem Ingenieur keine Blaupausen zur Verfügung.“ (S.48)

**6 („SIS versus SES“):** Ich schlage der Klarheit wegen vor, am Gebiet der „Suboptimalität“ zwischen „systeminterner“ (SIS) und „systemexterner“ (SES) Suboptimalität zu unterscheiden.

**SIS** liegt vor wenn *innerhalb* eines Systems (=abgrenzbares Funktionsgefüge) Unstimmigkeiten existieren/scheinbar existieren. (Anfechtbares) Beispiel: Inverse Retina bei Wirbeltieraugen.

**SES** liegt vor wenn das System selbst zwar optimal (im Sinne von „bestmöglich“) ist, jedoch gegenüber denkbaren *alternativen* Systemen/Lösungen unterlegen ist: „*Finally, a fundamentally poorer but established and thus well-tuned design may win in competition with one that is basically better but still flawed.*“ (Hypothetisches) Beispiel: Facettenaugen anstatt Wirbeltieraugen bei Landwirbeltieren.

**7 („Design & Biologie“):** Gerade in diesem Zusammenhang ein bekanntes Beispiel: Richard DAWKINS. In seinem Buch „*The Blind Watchmaker*“ (1996) erkennt er deutlich eine besondere Eigenheit der Biologie, die er dann versucht, im Sinne naturalistischer Erklärungen zu meistern. (Genau genommen stimmt das nicht, da er sie schon für gemeistert betrachtet und quasi nur noch die Öffentlichkeit darüber aufklären möchte, siehe Seite xiii)

Zunächst macht er auf einen grundsätzlichen Handlungsbedarf aufmerksam:

„*The complexity of living organisms is matched by the elegant efficiency of their apparent design. If anyone doesn't agree that this amount of complex design cries out for an explanation, I give up.*“ (S.xiii)

Mehr noch:

„*Biology is the study of complicated things that give the appearance of having been designed for a purpose. Physics is the study of simple things that do not tempt us to invoke design.*“ (S.1)

DAWKINS bringt dem Leser diesen Punkt

anhand des Fledermaus-Radars nahe und bevor er damit beginnt, schärft er dem Leser noch einmal ein, was für den „Anschein von Design“ verantwortlich ist:

*„Natural selection is the blind watchmaker, blind because it does **not see ahead**, does **not plan consequences**, has **no purpose in view**. Yet the living results of natural selection **overwhelmingly impress us with the appearance of design as if by a master watchmaker**, impress us with the illusion of design and planning. The purpose of this book is to resolve this paradox to the satisfaction of the reader, and the purpose of this chapter is further to impress the reader with the power of the illusion of design. We shall look at a particular example and shall conclude that , when it comes to complexity and beauty of design, **Paley hardly even began to state the case.**“ (S.21)*

Ob DAWKINS (bzw. Darwin & Wallace, denen er das Verdienst zuschreibt) das „Paradox“ tatsächlich zur Befriedigung des (kritischen/informierten) Lesers gemeistert hat, sei hier dahingestellt. (Es wäre aber nicht mutig oder gewagt, wenn man meint, dass dies – DAWKINS „Lösung“ für das „Paradox“ - naturwissenschaftlich gut begründet angezweifelt werden kann!)

Aber vielleicht ist es mit diesen Zitaten etwas verständlicher, warum sich ein Lehrbuch der Biomechanik überhaupt zum Thema „Design“ äußert: Ganz einfach, weil sich die Frage nach Design in der Biologie auch noch (und gerade dann!) stellt, wenn man biologische Systeme bis in die Tiefe erforscht. Sie löst sich nicht einfach auf (als wäre man einem oberflächlichen Eindruck oder einen einfachen Täuschung erlegen), sondern *„cries out for an explanation“*. Und so wie es aussieht, auch lange nach Darwin und Wallace! (Leser die dem letzten Satz nicht zustimmen, lade ich gerne ein, mir die hier angeführten biologischen Systeme, sowie/oder die in den Quellen angeführten (z.B. *Tabelle1*) Strukturen, im Sinne von Darwin, Wallace oder irgendeinem modernen Vertreter des Darwinismus zu erklären!)

## Literatur:

- Alberts, Bruce et al. 2001: *Lehrbuch der Molekularen Zellbiologie* WILEY-VCH
- Alexander, R. McNeill 2001: *Damper for bad vibrations* Nature 414:855-857
- Alon, U. 2003: *Biological Networks: The Tinkerer as an Engineer* Science 301:1866-1867
- Behe, Michael J. 1996: *Darwin's Black Box* Simon&Schuster, First Touchstone Edition 1998
- Block, Steven M. 1997: *Real engines of creation* Nature 386:217-219
- Bowman, Gregory D. et al. 2004: *Structural analysis of a eukaryotic sliding DNA clamp-clamp loader complex* Nature 429:724-730
- Charlesworth, Brian 2002: *Evolution by design?* Nature 418:129
- Campbell, Neil A. & Reece, Jane B. 2003: *Biologie* Spektrum Akademischer Verlag
- Dawkins, Richard 1996: *The Blind Watchmaker. Why The Evidence Of Evolution Reveals A Universe Without Design* W.W. Norton & Company, Inc.
- Dawkins, Richard 1996: *Why don't animals have wheels?* The Sunday Times 24 November 1996 URL.: <http://www.world-of-dawkins.com/Dawkins/Work/Articles/1996-11-24wheels.shtml>
- Dembski, William A. 2004: *The Design Revolution* IVP
- Heldmaier, Gerhard & Neuweiler, Gerhard 2003: *Vergleichende Tierphysiologie. Band1 Neuro-und Sinnesphysiologie* Springer-Verlag
- Jacob, Francois 1977: *Evolution and Tinkering* Science 196:1161-1166
- Junker, Reinhard & Scherer, Siegfried 2001: *Evolution. Ein kritisches Lehrbuch* Weyel Biologie
- Laskey, Ronald A. & Madine Mark A. 2003: *A rotary pumping model for helicase function of MCM proteins at a distance from replication forks* EMBOreports VOL 4, 26-30 (2003)
- Lieberman, Daniel E. 2004: *Engineering for animals.* Nature 428:893
- Leigh, Egbert Giles 1999: *The modern synthesis, Ronald Fisher and creationism* Trends in Ecol and Evol 14:495-498
- Lönnig, Wolf-Ekkehard 2002: *Auge widerlegt Zufallsevolution* Internetversion: URL.: <http://www.weloennig.de/AuIn.html>
- Nachtigall, Werner & Blüchel, Kurt G. 2001: *Das große Buch der BIONIK. Neue Technologien nach dem Vorbild der Natur* DVA
- Nachtigall, Werner 2002: *Bionik. Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler* Springer
- Neuhaus, Klaus & Ullrich, Henrik 2000: *Das Wirbeltierauge - Ein Konstruktionsfehler ohne funktionellen Sinn?* Studium Integrale Journal 7.Jg./Heft 1 S. 3-11 URL.: <http://www.wort-und-wissen.de/publikationen.html>
- Noji, Hiroyuki et al. 1997: *Direct observation of the rotation of F<sub>1</sub>-ATPase* Nature 386: 299-302
- Mayr, Ernst 2003: *Das ist Evolution* C.Bertelsmann
- Rammerstorfer, Markus 2003: *C3/C4 Photosynthese - Ein Argument gegen Intelligent Design?* URL.: <http://members.aon.at/evolution/C3C4.htm>
- Rammerstorfer, Markus 2004: *Evolution der Insektenflugsysteme: Von Darwin zu Design.* URL.: <http://members.aon.at/evolution/IflightIdeignPDF1.pdf>
- Schliwa, Manfred & Woehlke, Günter 2003: *Molecular motors* Nature 422:759-765
- Vogel, Steven 2003: *Comparative Biomechanics. Life's Physical World* Princeton University Press
- Wilkins, Adam S. 2000: *Evolutionary processes: a special issue* BioEssays 22:1051-1052
- Wilson, Alan M. et al. 2001: *Horses damp the spring in their step* Nature 414: 895-899
- Yasuda, Ryohei & Kinoshita, Kazuhiko 1999: *Mechanism of a "bio-machine" that functions like a spinning waterwheel* 1999 ASCB Press Book (Web Edition) URL.: <http://www.ascb.org/newsroom/pb99/0pbtoc.html>