

## Zur Diskussion

# **Missliche Missverständnisse bei dem Begriff Evolution, sachlogisch/didaktische Lösungs-Vorschläge**

Eberhard Schmidt

## **1 Das Anliegen**

Der Erziehungs- und Bildungsauftrag der Allgemeinbildenden Schulen erhält gegenwärtig wieder einen höheren realen Stellenwert. Inhaltlich gehört dazu die anschauliche Anleitung zum eigenständigen Verstehen von komplexen Zusammenhängen statt des bloßen Vermittelns von Sachwissen. Dazu ist es notwendig, dass die grundlegenden Begriffe sachlogisch stimmig hergeleitet und anschaulich auf den Kontext des betreffenden Paradigmas<sup>2</sup> bezogen werden. Inhaltliche Unstimmigkeiten und Konflikte mit der Alltagssprache sind dabei aufzudecken.

Hier geht es um die biologischen Begriffe Evolution und Evolutionstheorie. Die besondere Problematik liegt darin, dass sich diese Fachbegriffe gemäß der Dynamik der Wissenschaft und des Zeitgeistes gewandelt haben (JAHN & SCHMITT 2005, STIPF 1989, YOUNG 1994), dabei auch verwässert worden sind (Mikro-„Evolution“) und so schon innerhalb des Faches unterschiedlich oder unstimmig gebraucht werden. Hinzu kommt die Vermengung des biologischen Phänomens Evolution mit Weltanschauungen sowohl bei Evolutionsbiologen und in Unterrichts-Konzepten als auch bei religiösen Gruppierungen (wie Kreationisten, „intelligent design“).

Zu bedenken ist dabei, dass Naturwissenschaft im allgemeinen und Biologie im besonderen grundsätzlich positivistisch ausgerichtet sind, dass sie sich

---

<sup>1</sup> Paradigma als grundlegender Denk- und Arbeitsansatz (s. u.); zur didaktischen Diskussion von Begriffen vgl. BERCK 2001.

also auf das objektiv verbindlich Erfahrbare und seine Deutung beschränken müssen. Darüber hinausgehende, also transzendente Schlussfolgerungen<sup>2</sup> sind damit obligat ausgeklammert. Wissenschaftlich sind sie legitim im Rahmen der Naturphilosophie. Diese konkurriert dabei mit Weltanschauungen oder mit dem Glaubensdogma der christlichen Schöpfungsgeschichte (HENKE & ROTHE 1999). Die sachlich gebotene Trennung von Evolutionsbiologie und Naturphilosophie hat erstmalig Lamarck konsequent vorgenommen<sup>3</sup>.

Hier wird der Begriff Evolutionstheorie im Sinne von Abstammungslehre = Deszendenztheorie = Phylogenese verstanden, der Begriff Evolution steht dabei für die Geschichtlichkeit des Lebendigen in Form eines genealogischen Formenwandels in geologischen Zeiträumen mit Aufspaltung in unterschiedliche Stammeslinien mit unterschiedlicher Aktivität, Dynamik und Lebensdauer. Diese Geschichtlichkeit ist der dialektische Gegenpol zu der übrigen, kausalanalytisch/funktionalen Biologie, die in die ökosystemare, die organismische und die zellulär/molekularbiologische Ebene gegliedert wird.

Vorab soll an die Prinzipien naturwissenschaftlicher Begriffsbildung erinnert werden.

### **Naturwissenschaftliche Begriffsbildung**

Die Naturwissenschaft Biologie registriert und analysiert „typische“ biologische Phänomene oder (beim Experimentieren) Reaktionen auf Manipulationen („Beobachtung“ im weiten Sinne in der Didaktik, „Ergebnis“ im Fach) bei einer begrenzten, als repräsentativ angesehenen Zahl von konkret untersuchten Fällen (REMANE 1956) und stellt sie in einen Zusammenhang („Deutung“ in der Didaktik, „Diskussion“ im Fach). Die experimentelle Kausalanalyse kommt dabei zu Gesetzmäßigkeiten (als gesicherte „Wenn-Dann“-Beziehungen). Die

---

<sup>2</sup> Gemeint ist das, was „hinter den Dingen steht“, also das KANTSche „a priori“, das unvorstellbare, aber erahnte „Ding an sich“. Aus dieser KANTSchen Trennung von erfahrbarer und damit vorstellbarer Welt und dem dahinter stehenden „Ding an sich“ hat UEXKÜLL (1956) seine Lehre von der artspezifischen Umwelt und ihrer artspezifischen Bewertung abgeleitet. Das ist abgewandelt auch auf den Menschen zu übertragen, nur fällt es uns schwer, unsere eigene, also spezifisch menschliche biologisch bedingte Begrenztheit aufzudecken. So beherrschen wir zwar mit Hilfe der Vektor-Rechnung n-dimensionale Räume, können uns aber schon einen vierdimensionalen Raum nicht vorstellen.

<sup>3</sup> Das ist schon am Titel seiner Theorie zum Formenwandel (als Transformismus) abzulesen: „Philosophie der Zoologie“, erschienen 1909, im Geburtsjahr DARWINS (vgl. JAHN & SCHMITT 2005). Später ging das Bewusstsein für diese Trennung vielfach verloren (wie bei DARWIN, HAECKEL und MAYR, nicht aber z.B. bei PORTMANN, vgl. dazu z.B. das Vorwort in UEXKÜLL 1956; zur Bedeutung von Naturphilosophie für den Biologie-Unterricht vgl. BERCK 2001).

strikte Trennung von Beobachtung und Deutung hat schon JUNGE (1885) als didaktisch unerlässlich herausgestellt. Derartige Zusammenhänge (Deutungen, Gesetzmäßigkeiten) werden im folgenden vereinfachend „Theorie“ (im Sinne von Zusammen-Schau) genannt. Die methodische Differenzierung in Hypothese und Theorie, das Verfahren der Bestätigung, der Modifikation oder des Verwerfens bei der Überprüfung einer Hypothese werden hier (als für das Thema nachrangig) vernachlässigt (vgl. z.B. LAMPERT & SOMMER 1999). Begriffe sind dabei als der „Theorie“ dienend, als Ausdruck der „Theorie“ anzusehen. Sie ergeben sich aus ihr und konkretisieren sie. Das Problem liegt darin, dass ein Begriffswandel sich nicht unbedingt im Begriffs-Namen („label“ = Etikett) niederschlägt, so dass unterschiedliche „Theorien“ sich gleicher Begriffs-Namen bedienen können. Das führt zu misslichen Missverständnissen innerhalb der Fachsprache (Beispiel „ökologische Nische“). Hier geht es um den Begriff „Evolution“. Grundzüge dazu waren schon früher mit anderem Schwerpunkt in dieser Zeitschrift zur Diskussion gestellt worden (SCHMIDT 2003a; vgl. auch BAALMANN et al. 2005 sowie SCHMIDT {Kritik dazu} & KATTMANN {Erwiderung; 2006}).

## 2 Die Paradigmen der Biologie als Naturwissenschaft

Paradigmen sind die grundlegenden Denkansätze, also die Grundeinstellungen zur Fragestellung, zur Theorie und die Arbeitsmethodik. Bestimmt wird die Biologie vom Paradigma der funktionalen Zusammenhänge. Mechanismen können nach dem gängigen Schema der Kausalanalyse (Faktorenvariation unter definierten Bedingungen) aktuell analysiert werden, sofern das untersuchte System auch wirklich deterministisch geordnet ist oder durch starke Normierung deterministisch gemacht wird<sup>4</sup>.

Die Mannigfaltigkeit der Organismen und ihre komplexe natürliche Ordnung wurden zunächst nach dem Paradigma der Vergleichenden Morphologie typologisch untersucht. Aus der Paläontologie erwuchs dann die Vorstellung von einer Veränderung bzw. Entwicklung in der Erdgeschichte. Das entspricht dem Begriff Evolution im ursprünglichen Sinne. Damit gilt das Paradigma der Geschichtlichkeit. Die Paläontologie untersucht in der Zeitachse rückwärts gerichtet

---

<sup>4</sup> Beispiel: Die chaotische Phytoplankton-Dynamik eines Sees wird zur mechanistischen Faktorenanalyse des Populationswachstums, also der Vermehrungsrate, an genetisch einheitlichen Populationen in normierten Adaptationszuständen von ausgewählten Arten unter normierten Kulturbedingungen (vgl. LAMPERT & SOMMER 1999). Auch die (z.B. hier im Münsterland) hochgradig rationalisierte und ökonomisch optimierte Schweinemast mit dem Computer setzt normierte Zuchttiere/Ferkel und Haltungsbedingungen voraus.

die erhaltenen Überreste von Organismen vergangener Erdepochen (Fossilien oder Versteinerungen) im Kontext der Geologie<sup>5</sup>. – Die Natürliche Verwandtschaft rezenter Organismen wurde mit dem Instrument und dem Denkansatz der Vergleichenden Morphologie zunächst typologisch, dann auf die Evolution bezogen konstruiert. Mitte des 20. Jahrhunderts folgte die Phylogenetische Systematik (HENNIG 1950). Sie rekonstruiert die Stammeslinien der Evolution an Hand von Innovationen, den gemeinsamen abgeleiteten Merkmalen (Synapomorphien), und ist auf die Ermittlung von Gabelstellen in den Stammbäumen ausgerichtet (Kladistik). Unvermittelt daneben steht derzeit das Paradigma der Molekulargenetischen Systematik. Darauf wird gesondert eingegangen.

Oft wird die Wertschätzung und Sonderstellung der Evolutionsbiologie durch das Zitat von DOBZHANSKY „Nichts in der Biologie ergibt Sinn außer im Lichte der Evolution“ ausgedrückt (z.B. MAYR 1998, 236; WUKETITS 1988). Das erkennt, dass sich beispielsweise die experimentelle Biologie ganz auf aktuelle Phänomene im funktionalen Kontext konzentriert und auf ausgestorbene oder fossile Formen prinzipiell nicht angewendet werden kann. Besonders deutlich ist das bei ethologischen Fragestellungen. Das Zitat stellt also das Paradigma der Geschichtlichkeit zu sehr in den Vordergrund und verkennt die Unabhängigkeit von dem Paradigma der funktionalen Zusammenhänge. Die beiden Paradigmen stehen zu einander wie zwei linear unabhängige Vektoren (in der Mathematik), die zusammen die Ebene der biologischen Disziplinen aufspannen.

### **Das Bild vom Organismus als Parameter von Evolutionstheorien**

Die Rekonstruktion von Evolution stützt sich gemäß dem jeweiligen Theorie-Ansatz auf ausgewählte Eigenschaften der betreffenden Art (oder höherer Taxa). Bei der typologisch Vergleichenden Morphologie waren es die Homologien, bei der Phylogenetischen Systematik sind es die Apomorphien, bei der molekulargenetischen Systematik quantitative Genom-Unterschiede. Eigentlich müsste jedoch die Art ganzheitlich als Organismus einbezogen werden, denn (fast) alle Veränderungen wirken sich auf das Ganze aus. Die Frankfurter Schule (GUTMANN 1995) hat dementsprechend die „organismische Wandlung in den Mittelpunkt gestellt. Organismen werden dabei eher technisch als hydraulische Apparate (Hydroskelett mit entsprechender Muskulatur für den Bewegungsapparat) und „Energiewandler“ („energiewandelnde Selbstversorger“) mit der Fähigkeit zur Nachkommenproduktion gesehen. Selektion dient dann dem Ausmerzen von

<sup>5</sup> ROTHE (2000), populäre Einführung MUNDLOS (1979), zum Menschen HENKE & ROTHE (1999), SCHRENK (2003).

Konstruktionsfehlern bei den Nachkommen, nicht als Motor von Evolution<sup>6</sup>. Die unberechenbare Wandelbarkeit dieser Konstruktionen ist dann die Voraussetzung für eine Evolution. Die Außenbeziehungen und ihre Wechselbeziehung mit der Konstruktionseinheit, die dann ökologisch als Lebensform zu sehen ist<sup>7</sup>, werden von der Frankfurter Schule zu wenig beachtet, sie gehören jedoch zu der wünschenswerten ganzheitlichen Betrachtung. Erforderlich ist also eine Synthese. Dazu gehört auch die Analyse der Systembedingungen. Die „Systemische Evolutionstheorie“ beschreibt sie treffend als nichtlineares Chaos-System (LORENZEN 1989, WUKETITS 1988: „Eine Systemtheorie der Evolution“). Das schließt einfache Kausalitäten, also Evolutions-Mechanismen aus. Die Theorie der Organismen als hydraulische Apparate der Frankfurter Schule und die Systemtheorie der Evolution behandeln allgemein Faktoren der Ausgangslage für Evolution, sie gehören also zur Biologie; spezifizierte Aussagen über konkrete Evolutionsvorgänge bleiben aus.

### 3 Die Grundfragen zur Evolution

Der Kieler Zoologe Adolf REMANE hatte in seiner Vorlesung zur Evolution (z.B. Anfang der 1960er Jahre) vier Grundfragen zur Evolution herausgestellt (REMANE et al. 1973, auch bei WUKETITS 1988), die hier etwas abgewandelt werden:

1. Die Frage nach naturwissenschaftlichen Belegen für eine Evolution überhaupt
2. Die Frage nach der Ablauf-Struktur (z.B. parallele Linien wie bei LAMARCK, mit netzartigen Verknüpfungen oder stammbaumartig wie bei DARWIN, HAECKEL?) und nach konkreten Evolutions-Abläufen
3. Die Frage nach „Gesetzmäßigkeiten“ in den Abläufen, also nach wiederkehrenden einfachen Strukturen in den Abläufen
4. Die Frage nach der „Erklärung“ der Evolution, also nach Kausalzusammenhängen, somit nach Theorien über Mechanismen

---

<sup>6</sup> Der hohe Stellenwert der hydraulischen „Apparate“ (Hydroskelett als Basis für den Bewegungsapparat) bei GUTMANN erklärt sich daraus, dass er von der theoretischen Bauplan-Konstruktion der fehlenden Bindeglieder zwischen metameren Coelomaten und den Chordaten (repräsentiert durch die kaulquappenähnlichen Larven der Manteltiere/Tunikaten) ausging. Unzureichend beachtet blieb die Ausbildung von Hartteilen (Chitin panzer der Arthropoden, Knochenskelett der Wirbeltiere) als neue Ansatzstellen für die Bewegungsmuskulatur, verbunden mit einer Reduktion des Hydroskeletts und der metameren Cölom-Sackpaare. – Zur Selektion vgl. die Rolle der großen Raubtiere (wie Löwen) als Bestandshygiene der großen Weidegänger (wie Zebras und Gnus der afrikanischen Savanne).

<sup>7</sup> Vgl. dazu das ökologische Artkonzept bei JUNGE 1885, modifiziert in ESCHENHAGEN et al. (1991: 178ff.).

Dabei bilden die ersten drei Fragen einen naturwissenschaftlich zugänglichen, sich gegenseitig ergänzenden Komplex. Die Frage nach Belegen für eine Evolution überhaupt ist sachlogisch mit der Frage nach konkreten Abläufen eng verbunden, beide werden nachstehend vertieft. Die Frage 3 hat sich inzwischen relativiert (REMANE ET AL. 1973). So ist das „biogenetische Grundgesetz“ HAECKELS (s. Kasten1) dahin gehend abgeschwächt, dass evolutiv ursprüngliche, später abgewandelte oder verloren gegangene Merkmale wohl in der Keimes-Entwicklung zeitweilig auftreten können, sie müssen es aber nicht. Das gilt auch für das „Gesetz“ vom Verschwinden nicht mehr benötigter Organe (z.B. Fell bei Walen, Augen von Höhlentieren) oder für das DOLLOSche Irreversibilitäts-„Gesetz“ (s. Kasten 1). Auch die z.T. verblüffenden Konvergenzen gelten nicht generell und lassen sich daher nicht als Gesetzmäßigkeit deuten (s. Kasten 1). Die Einmaligkeit der Evolutionsabläufe hat damit Vorrang gegenüber Parallel-Entwicklungen und „Gesetzmäßigkeiten“. – Anzuschließen sind hier Fragen wie die nach einer Zielgerichtetheit der Evolution (wie Erhöhung der Formenvielfalt, der Differenzierung in Bau und Leistungen, Größenzunahme oder allgemein „Höherentwicklung“: KUHN 1966, 192ff.).

### **Kasten 1**

#### **Biogenetisches Grundgesetz Haeckels**

„Die Ontogenie ist die Rekapitulation der Phylogenie“, d.h. es gibt eine kurze und schnelle Wiederholung der Stammesgeschichte in der Keimesentwicklung (nach HAECKEL 1872, zit. bei JAHN & SCHMITT 2001). Beispiele dafür sind das Auftreten von Kiementaschen (bzw. Kiemen = Visceral- = Pharyngealbögen) in frühen Embryonalstadien fast aller Wirbeltiere, auch beim Menschen, das embryonale Wollkeid (Lanugo) in embryonalen Phasen des Menschen und die embryonalen Zahnanlagen bei adult zahnlosen Bartenwalen, auch die bilateral symmetrische Gestalt der Schollen-Larven mit seitlichen Augen (OSCHE 1973, SUDHAUS & REHFELD 1992).

#### **DOLLOSches Irreversibilitäts-„Gesetz“**

Gemeint ist damit die Unumkehrbarkeit von Evolution. Gegenbeispiele sind der vielfache „Weg zurück in das Wasser“ bei Amnioten als ursprünglichen Landbewohnern oder der Verlust der Gebißdifferenzierung der Säugetiere bei Zahnwalen, hier auch noch verbunden mit einer krokodilähnlichen Zahnvermehrung (Fischfänger-Gebiss von Schlingern, nicht von Zerkleinerern). Natürlich sind beispielsweise Fischsaurier oder

Wale oder Seekühe nur fischähnlich, die Wale blieben warmblütig mit Luftatmung und können damit die Kaltmeere besser besiedeln als gleichgroße Fische (wie Haie). Es ist also kein Zurück zum Urbild. Das belegt wiederum die Einmaligkeit des Evolutions-Geschehens, die „Gesetze“ ausschließt.

### **Konvergenzen**

bezeichnen das Auftreten gleicher Lebensformtypen unter ähnlichen ökologischen Bedingungen, aber in verschiedenen Gegenden wie die Kakteen-Gestalten (aus dieser Familie in der Neuen Welt, verblüffend ähnlich bei Wolfsmilch-Gewächsen der Alten Welt, dort sind aber inzwischen durch den Menschen auch Kakteen, z.B. Opuntien, eingebürgert worden) oder die Kolibiris der Neuen Welt und die Nektarvögel (Sperlingsvögel) der Alten Welt oder bei verschiedenen Beuteltieren und bei Plazentaliern (wie Flughörnchen, Springmaus, Mulle/Maulwurf). Zu nennen sind auch die Fischgestalten bei jagenden Ausdauer-Schnellschwimmern unter den Knorpel- und Knochen-Fischen (wie Blauhai, Schwertfisch), bei den Sauriern (Fischsaurier) und Säugetieren (wie Delphin) oder die Starrkörper-Ausdauer Schwimmer mit Antrieb durch die flossenförmigen Vorder-Extremitäten, die Hinterextremitäten als Steuer (wie bei den langsamen Meeresschildkröten und den schnellen Pinguinen der Südhalbkugel konvergent zum durch Walfänger ausgerotteten Riesenalk der Nordmeere) oder die Termitenfresser unter den Säugetieren (mit Grabbeinen und lang ausgezogener Schnauze mit langer Zunge (wie Ameisenigel, Ameisenbär, Schuppen-, Gürteltiere, Erdferkel), Flattertiere unter Sauriern und Säugern. Konvergenz kann einzelne Organe betreffen wie bei dem Blattfressergebiß (z.B. der Riesenhänguruhs, Pferde und Wiederkäuer) oder wie die Hochleistungs-Linsenaugen mit Akkomodations-Vermögen bei räuberischen Schwimmern im freien Ozean (Meeresringelwürmer wie Alciopa, Tintenfische, Wirbeltiere, analog auch das Facettenauge der Arthropoden, zur Fisch-Feindortung z.B. bei Wasserflöhen und Glasmückenlarven). Diese Konvergenzen belegen, dass diese Gestalten oder Organe recht flexibel umgebildet werden können. Sie haben dann nur geringen Wert für die Rekonstruktion von natürlicher Verwandtschaft, auch wenn sich diese im Detail zeigen kann. So sind die Linsenaugen von Tintenfischen und Wirbeltieren in Bau und Leistung praktisch gleich, sie werden aber unterschiedlich gebildet (evers:invers). Konvergenzen sind damit ein weiterer Beleg für die Komplexität der Evolution (Literatur unter Lebensformtypen bei Ökologen wie KOEPCKE 1973/74, KÜHNELT 1970 und unter Konvergenz/Analogie bei Evolutionsbiologen wie OSCHKE 1973; zum Alciopa-Auge vgl. KAESTNER & GRUNER 1993).

Auf die Frage vier kann das Paradigma der Geschichtlichkeit prinzipiell keine Antwort geben. Die Methoden der Kausalanalyse nach dem Paradigma der funktionalen Zusammenhänge greifen nicht, weil weder die konkreten Bedingungen in den jeweiligen geologischen Epochen noch das evolutive Potential der betreffenden Arten direkt zugänglich sind. Zu überprüfen wäre überdies, ob das Evolutionsgeschehen überhaupt deterministisch geordnet ist oder ob nicht etwa eine nichtlineare Chaos-Struktur der Realität entspricht (LORENZEN 1989, WUKETTIS 1988: „Eine Systemtheorie der Evolution“). Die Einzigartigkeit der Evolutionsabläufe und ihrer Ergebnisse sprechen für letzteres (SACHSSE 1968). Mit Theorien zu Evolutions-Mechanismen<sup>8</sup> werden daher die Grenzen einer positivistischen Naturwissenschaft hin zur Metaphysik überschritten<sup>9</sup>.

#### 4 Hinweise zum historischen Zugang zur Evolution

**Fachliche Grundlagen** (vgl. ROTHE 2000): Die Geologie liefert eine Erdgeschichte, die an den Schichten der Sedimentgesteine (wie Steinkohle, Buntsandstein, Jura-Kalk) ablesbar und inzwischen gut datiert ist. Die Sedimentgesteine gehen auf Ablagerungen in Feuchtgebieten zurück, die Zusammensetzung der Mineralien erlaubt Rückschlüsse auf den Typ des Feuchtgebietes (wie Meeresbuchten oder Flachmeere bei Kochsalz-Anteilen, Vermoorungen bei Braun- oder Steinkohlen-Lagerstätten). Eingeschlossen sind Reste von Organismen, die Fossilien, Versteinerungen oder Petrefakten genannt werden. Sie werden von der Paläontologie untersucht. Oft sind aus den erkennbaren Strukturen Aussagen zur Gestalt und Lebensweise (z.B. Zahnstrukturen 3 Ernährungsweise) abzuleiten, wobei aktuell nachgewiesene Zusammenhänge von Gestalt und Funktion auf die Vergangenheit übertragen werden (Aktualitätsprinzip).

---

<sup>8</sup> Diese Theorien greifen einzelne Faktoren pauschal heraus, die mit hoher Wahrscheinlichkeit notwendig, aber nicht hinreichend am komplexen Langzeitgeschehen Evolution beteiligt sind. Sie haben eine zunehmende Differenzierung erfahren. Die simple Selektionstheorie DARWINs wurde um 1935 (u.a. durch Einschluß der Genetik) differenziert zur „Synthetischen Evolutionstheorie“ (z.B. durch LORENZ 1978 und MAYR 1998, vgl. WUKETTIS 1988). – Zu bedenken ist auch, dass die Rolle der Selektion in Verbindung mit Mutationen und dem Zufall aus den vielfältigen innerartlichen Veränderung durch die Tierzüchtung (Tauben der Bergleute als Modell bei Darwin) abgeleitet worden ist. Die Züchtung orientiert sich an menschlichen Zuchtzielen. Eine Zielgerichtetheit ist aber bei der Evolution nicht zu erkennen, auch wenn sie anfangs als Element der göttlichen Schöpfung unterschwellig impliziert war (vgl. KUHN 1969).

<sup>9</sup> Die Mechanismen Darwins und der Synthetischen Evolutionstheorie wurden denn auch von GUTMANN (1995) in geradezu ausfallender Diktion abgelehnt, auch in dem Lehrbuch von FUTUYMA (1990: 8ff.) einleitend in Frage gestellt, später jedoch behandelt.

Die Fossilbildung, oft auch einfach das Auffinden sind jedoch Ausnahmeerscheinungen, insbesondere im terrestrischen Bereich. Lücken bestimmen also das Bild. Dennoch gibt es (im Sinne von Beobachtungen) relativ dichte Fundreihen (vor allem bei Organismen mit Hartteilen, wie den Gehäusen der Ammoniten oder den Knochen der Wirbeltiere; auch die Menschenlinie ist ein Beispiel). Sie sind nicht nur ein starkes Indiz für eine Evolution im Sinne einer Abwandlung in der Zeit, einer Aufspaltung von Formen, auch vom Verschwinden, sondern sie klären auch Ablauf-Fragen und stützen die Theorie einer stammbaumartigen Formen-Aufspaltung (wie schon bei DARWIN<sup>10</sup>, vgl. JAHN & SCHMITT 2001).

**„Selbstredende Fossilien“:** HENKE & ROTHE (1999) wenden sich vehement gegen die Aussage „Fossilien reden“, also dagegen, dass Evolution an Fossilien direkt ablesbar sei. „Stammesgeschichtsforschung ist theoriengeleitete Forschung“ auf der Basis der Synthetischen Evolutionstheorie“ (S. 4). Das steht so nicht ganz in Einklang mit der hier vorgestellten Auffassung. Danach entsprechen die Präparation und die rein bildliche Darstellung von Fossilien der Beobachtung bzw. dem Ergebnis. Mit dem Paradigma der Vergleichenden Morphologie erfolgt die (funktionsmorphologische) Gestaltsanalyse (Deutung bzw. Diskussion 1. Schritt). Sie ist verwoben mit der Analyse der Beziehung zu bekannten Formen (systematische Einordnung). Das bedeutet die Ermittlung der Position im Stammbaum (nach den Kriterien der Phylogenetischen Systematik: Deutung bzw. Diskussion 2. Schritt). In diesem Sinne ist die obige Kritik trivial, der für eine Wissenschaft selbstverständliche Theoriebezug bleibt bei HENKE & ROTHE jedoch zu vage. Hinzu kommt, dass die Synthetische Evolutionstheorie im Kern auf unzulässige Mechanismen ausgerichtet ist und diesbezüglich außerhalb einer positivistischen Evolutionsbiologie steht.

**Didaktische Umsetzung:** Die Evolutionstheorie (als Abstammungslehre) bringt eine Zusammenschau der gewaltigen Formenmannigfaltigkeit der rezenten und der früheren Organismen. Sie ist in voller Breite und Tiefe nicht einmal den Spezialisten möglich. Für den Kurs Evolutionsbiologie der Gymnasialen Oberstufe müssen daher solche Beispiele ausgewählt werden, die an Hand von

---

<sup>10</sup> „Die darwinistische Evolutionstheorie hat uneingeschränkt Gültigkeit in ihrer prinzipiellen Feststellung, dass sich die Organismen in ihrer Generationsfolge durch sukzessive Änderungen ihrer Genotypen wandeln, d.h. dass alle Lebewesen im Laufe der Erdgeschichte in direkter Zeugungskette miteinander verbunden sind“ (HENKE & ROTHE 1999: 3). Dieser Aussage kann unbedingt zugestimmt werden, die Optimierung der didaktischen Umsetzung ist das eigentliche Anliegen dieser Publikation.

Fossilien auch ohne Spezialkenntnisse die Grundideen und ihre Problematik im Kontext des Paradigmas der Geschichtlichkeit anschaulich herleiten lassen. Der Einstieg sollte in einem Naturkunde-Museum der Region erfolgen. Die Beispiele müssen sich an dem jeweiligen Angebot orientieren, einige werden hier skizziert.

– **Saurier** sind bei Schülern beliebt, Sachbücher und Plastilin-Figuren haben markante Großformen vielen bekannt gemacht. Skelette oder ihre Nachbildungen und lebensgroße Rekonstruktionen finden sich vielfach in Museen. Leider ist die Evolution der Saurier für den Laien recht unübersichtlich (LAMBERT 1993), auch sind die modernen Vögel als ihre rezenten Nachfahren für den Laien schwer zuzuordnen. Saurier sind damit didaktisch eher eindrucksvolle Beispiele für eine untergegangene, einzigartige Formenwelt einer früheren Epoche als Zeugnisse für eine Evolution.

– Zeitlich nahe liegt die **Tierwelt der letzten Vereisung** (HANDTKE 1992, KOENIGSWALD 2002). Mammut, Wollnashorn, Riesenhirsch, -elch, und Höhlenbär, -löwe) waren markante, wie der Neanderthaler (AUFFERMANN & ORSCHIEDT 2006) gegen Ende der Vereisung ausgestorbene Großformen in unserer Region. Von ersteren liegen künstlerisch wie biologisch bemerkenswerte Darstellungen durch unsere direkten Vorfahren als südwesteuropäische Höhlenmalereien vor (Querverbindung zum Fach Kunst; KÜHN 1958). Diese Tiere waren in den letzten Kaltzeiten typische Faunenelemente von Mitteleuropa. Sie sind aber nicht Beleg für eine Evolution in der Kaltzeit, sondern für eine Areal-Ausdehnung von Sibirien her bei Klima-Wandel und für das Aussterben unter nicht eindeutig geklärten Umständen (s. Kasten 2). Das gleiche gilt für den Wald-Elefanten, Wald- und Steppen-Nashorn in den wärmeren Zwischen-Eiszeiten. Weit über hunderttausend Jahre haben hier also nicht für eine Evolution gereicht. Anzuschließen wäre der Stammbaum der Elefanten-Linie als ein anschauliches Beispiel für eine fossil gut belegte, markante, auch noch rezent vertretene Tiergruppe; zugleich macht er die Zeiträume für diese Evolution deutlich.

– Stärker linear (im Sinne einer additiven Typogenese) ist das didaktisch gut aufgearbeitete Beispiel der **Evolution der Pferde** (didaktisch gut kommentierte Farbfotos von Urpferd-Fossilien bei KOENIGSWALD & STORCH 1998).

– In vielen Museen werden **Ammoniten** ausgestellt. Sie sind auch als Zimmerschmuck beliebt. Ihre Evolution zeigt einen Wechsel von hoher Radiation und dem Zusammenbruch der Formenmannigfaltigkeit (wie am Ende der Trias) bis zum völligen Aussterben am Ende der Kreidezeit. Das „Aufblühen“ erfolgt jeweils

in Erdperioden mit ausgedehnten Flachmeer-Zonen, dem optimalen Lebensraum der Ammoniten (bevorzugte Tiefe: 40 m bis maximal 500 m), das „Verblühen“ in Perioden mit nur schmalen Flachmeersäumen (RICHTER 1994) (s. Kasten 2).

## **Kasten 2**

### **Klimawandel & Aussterben**

„Mammut, Wollnashorn, irischer Riesenhirsch und andere waren zweifellos kalten, aber trockenen Umwelten mit wenig Schnee angepasst. Ihnen fehlte wahrscheinlich jene Anpassung an den tiefen Pulverschnee, der im Laufe der Eiszeit immer weiter vordrang. Sie werden versucht haben, zu entkommen und konnten sich auf einige eisfreie Inseln zurückziehen, bis sich diese als Fallen erwiesen“ (TIME-LIFE-BUCH 1976, 125-126). KOENIGSWALD (2002) verweist auf das Verschwinden der Mammutsteppe auch in Sibirien parallel zu deren Aussterben, die überlebenden Arten der Mammutsteppe sind jetzt auf weit getrennte Areale verteilt, Arten wie Ren und Moschusochse leben in der Tundra, Wildpferd und Saiga-Antilope in den mongolischen Kaltsteppen. Die Mammutsteppe als gemeinsamer Lebensraum für beide Gruppen ist wohl gegen Ende der letzten Vereisung untergegangen, die ausgestorbenen Großformen waren offenbar auf sie angewiesen und gingen mit ihr unter.

### **Ammoniten**

Ammoniten haben eine ebenfalls sehr alte, ökologische ähnliche Schwestergruppe, die Nautilus-Linie. Sie hat mit einer Gattung als „Lebendes Fossil“ überlebt. Das Schiffsboot (Nautilus) wird in einigen Meeresaquarien gezeigt. Dort kann der einmalige Lebensformtyp analysiert werden. Gasblasen-Auftriebs-Schwebermitteffektiver, energiearmer Fluchtmöglichkeit vom Boden in das freie Wasser. Schwimmen konnten sie schlecht, ihre Nahrung suchten sie am Boden. Gefahr drohte im Erdaltertum dort von den großen Panzerfischen.

Ein Seitenast der Ammoniten führte über die Belemniten zu den modernen Cephalopoden. Diese formenreiche Linie zeigt die Umstellung auf ein effektives Rückstoß-Schwimmen (mit Kalmaren als Freiwasserformen, Kraken als Felsspalten-Kriechern und Tintenfischen als Bodentieren, alle jedoch vielfältig abgewandelt). Fachliche Informationen geben z.B. KAESTNER & GRUNER (1993), ROMER (1970), REMANE et al. (1997), STORCH et al. (2001).

## 5 Evolutionstheorie und natürliches System

**Einführung:** Die Formenmannigfaltigkeit der rezenten Organismen lässt eine hierarchisch abgestuft gegliederte (typologische) Ähnlichkeit erkennen. Sie wurde schon von LINNÉ zur Ordnung der Mannigfaltigkeit verwendet<sup>11</sup>. Für die höheren Taxa wurden auf der Grundlage der Vergleichenden Morphologie zunächst Typen (im Sinne von Bauplänen z.B. für die Stämme des Tierreiches) aufgestellt. Die Zuordnung, also die Verwandtschafts-Bestimmung, erfolgte durch Homologisieren nach bestimmten Kriterien. Dazu gehörte das Ausschließen von funktionalen Ähnlichkeiten in verschiedenen Bauplantypen (Analogien). Diese Systematik nach typologischen, nicht vorrangig nach funktionalen Ähnlichkeiten (im Sinne der Vergleichenden Morphologie) wurde „natürliches System“ genannt (REMANE 1952). Es ist älter als die Theorie der Phylogenese. Erst mit ihrer Etablierung folgte die Synthese von (vergleichend-morphologisch begründetem) System und Phylogenese. Die Stammbäume der Evolution wurden damit zum Gerüst für das natürliche System, also für die Ordnung der Formenmannigfaltigkeit (MAYR 1969). Systematik (als Lehre von der Formenmannigfaltigkeit) und Taxonomie (Einordnung konkreter Organismen in das System) erhielten damit formal die Rekonstruktion von Stammbäumen als Hauptaufgabe. Das bedeutete einen Paradigma-Wechsel für den Begriff „natürliches“ System, dennoch gab es etwa ein Jahrhundert lang keine eigenständige Methode zur Rekonstruktion von Stammbäumen, es wurde vielmehr die Methode der Vergleichenden Morphologie für die Stammbaum-Forschung beibehalten, nur die Begriffe wurden angepasst (z.B. Typus → Stammform). Das führte zu einem Missverständnis bei dem Begriff Homologie<sup>12</sup>. Nichttrivial ist das Homologisieren jetzt nur noch dann, wenn das untersuchte Organ in dem Verwandtschaftskreis (im Sinne von Stammbaum-Ast) stark abgewandelt und daher die Übereinstimmung mit der Stammform nicht einfach zu erkennen ist. Dabei ist immer das konkrete systematische Niveau anzugeben<sup>13</sup>. Homologie liefert

<sup>11</sup> LINNAEUS 1758, Basiswerk der zoologischen Nomenklatur.

<sup>12</sup> Auch heute noch sollen in manchen Richtlinien und Unterrichtsmaterialien Homologien der Bestimmung von natürlicher Verwandtschaft dienen, obwohl der Begriff Homologie quasi umgedreht worden ist, homologe Organe also durch phylogenetische Verwandtschaft bestimmt werden (Ax 1984:167). Daher ist jetzt dabei immer das konkrete systematische Niveau anzugeben.

<sup>13</sup> Ein schulrelevantes Beispiel (der Jahrgangsstufe 5) im systematischen Niveau Klasse Säugetiere ist das Homologisieren des Gebisses. Es ist sachgerecht nach der Lage zu gliedern (Vorder-, Eck-, [Vor-/] Backenzähne), die bei der konkreten Form vorhandene Zahnzahl wird in der Gebissformel dargestellt, die jeweilige Zahngestalt als Funktionstyp (z.B. Schneide-, Stoß-, Reiß-, Mahlzahn) angegeben.

zunehmend eine unerlässliche Organ-Klassifikation im Kontext natürliches System als Gegenstück zur Klassifikation nach Funktionstypen, ist damit ein Beitrag zur Paradigmen-Dialektik.

Inzwischen gibt es mit der Theorie der Phylogenetischen Systematik (Ax 1984, SUDHAUS & REHFELD 1992) eine eigenständige Methode zur Stammbaum-Rekonstruktion aus rezenten Formen. Sie geht zurück auf den Stuttgarter Dipteren-Spezialisten WILLI HENNIG (1950, vgl. auch 1969). Sie stützt sich wie die Vergleichende Morphologie, die etwa seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts unverdient in das wissenschaftliche Abseits geraten ist, auf eine Bewertung der Merkmale, hier nach ursprünglich (plesiomorph) und damit als unerheblich oder als abgeleitet (apomorph) und damit als verwandtschaftsbestimmend. Rein funktionale Ähnlichkeit (Analogie) wird nun als Konvergenz ausgeschlossen. Diese Bewertung gilt ebenfalls jeweils nur für einen bestimmten systematischen Rang, also für eine bestimmte Gabelstelle des Stammbaumes, auf die ausdrücklich Bezug genommen werden muss<sup>14</sup>.

### Kasten 3

#### **Schulrelevante Beispiele zur Phylogenetischen Systematik:**

Auf dem systematischen Niveau (Klasse) Säugetiere sind Merkmale wie die Milchdrüsen, das differenzierte Gebiss, die (zusätzlichen) Gehörknochen und die funktionale Einheit aller drei zu einem Hebelübersetzungsapparat (Luftschwingungen 1 Wasserwellen) Synapomorphien (gemeinsame abgeleitete Merkmale), die Ernährung der Embryonen im Uterus ist Synapomorphie auf dem systematischen Niveau der (Unterklasse) Plazentatiere, während die embryonalen Hüllen (Amnion und Serosa) ein ursprüngliches Merkmal der Säugetiere, aber Synapomorphie auf dem Niveau der Amnioten („Reptilien-Basis aufwärts“) sind. – Beim entsprechenden Vergleich von (rezentem) Menschen und den afrikanischen Menschenaffen (Gorillas, Schimpansen) im Zoo steht dem hoch spezialisierten Gewölbe-Lauf-/Sprungfuß des Menschen der „Plattfuß“ der Menschenaffen gegenüber; er legt sich dem unebenen Geäst optimal an, die Großzehe ist Greifzehe und sichert den Halt. Diese Menschenaffen haben damit eine völlig andere Optimierung des Fußes. Besonders eindrucksvoll ist das zu sehen, wenn Schimpansen auf einem Tau freihändig sicher gehen, nicht hoch riskant balancieren müssen wie Menschen.

<sup>14</sup> Zur unterschiedlichen Bewertung desselben Merkmals (hier der 3 Gehörknochen der Säugetiere) je nach dem systematischen Niveau findet sich eine einprägsame Abbildung bei Ax (1984, 154).

Der Menschenfuß (als markantes Beispiel aus dem spezifisch umgebildeten Bewegungsapparat insgesamt; vgl. HENKE & ROTHE 1999, KLEMMSTEIN in ESCHENHAGEN et al. 1998) ist einmalig nicht nur unter den afrikanischen Menschenaffen (als phylogenetische Schwestergruppe), sondern sogar im ganzen Tierreich (also ohne Konvergenz), damit auch vom Laien (wie Schüler) als hochrangige Synapomorphie zu erkennen. Das gleiche gilt beispielsweise für die S-förmig gekrümmte Wirbelsäule der Menschen in dem gleichen Kontext. Dieses bestätigt sich auch an der vorliegenden Fossilreihe des Menschen-Stammbaumastes in Verbindung mit der Evolution des ökonomisch ausdauernden aufrechten Ganges/ Laufes (etc). Die Bewertung des Fußes der afrikanischen Menschenaffen ist wegen der Ähnlichkeit zum Fuß des Orangs und der Gibbons für Laien nicht möglich, Fossilien stehen nicht zur Verfügung, die gemeinsame Stammform von Mensch und afrikanischen Menschenaffen ist nicht gut gesichert rekonstruiert. Umgekehrt ist es bei den Händen: Die zarte, unspezialisierte Menschenhand könnte ursprünglich sein, die Pranken der großen Menschenaffen, die sich nicht flach (wie eine „Patschhand“) aufsetzen lassen, sind wegen ihrer Einzigartigkeit unter den Affen mit hoher Wahrscheinlichkeit abgeleitet; die Afrikaner stimmen dabei gut überein („Knöchelgang“), während der Orang beim Vierfüßergang anders aufsetzt (z.B. als Faust). Das paßt zu einer früheren Abspaltung des Orang-Astes (vgl. Ax 1984). Dieses relativ einfache Beispiel zeigt, dass die eingängige Theorie einer Evolution der Organismen bei der Anwendung auf den konkreten Einzelfall für die Schulbiologie ihre Tücken hat. Die Rekonstruktion von Abstammungslinien aus der organismischen Biologie heraus erfordert nicht nur eine breite und tiefe Formenkenntnis, die heute im Biologiestudium nicht mehr vermittelt wird, sondern mit der phylogenetischen Bewertung von Merkmalen auch einen Denkansatz, der aus dem Bereich des Paradigmas der funktionalen Biologie heraus vielen unverständlich ist. So bleibt die konsequente Anwendung der Phylogenetischen Systematik selbst in bedeutenden Lehrbüchern zur Systematik defizitär (AX 1984); die Schulbiologie nimmt sie oft gar nicht erst wahr (Beispiel: ESCHENHAGEN et al. 1998).

**Ein Unterrichtsvorschlag:** Nachdem die Vorstellung von einer Evolution der Organismen exemplarisch an Fossilien hergeleitet ist, sollte wiederum exemplarisch das System rezenter Organismen gemäß der Theorie der Phylogenetischen Systematik auf die Evolution bezogen werden<sup>15</sup>.

<sup>15</sup> Die Großsystematik der Säugetiere wird im Kontext der Phylogenetischen Systematik eingehend bei AX (1984) behandelt, die der Wirbeltiere in herkömmlicher Darstellung ausführlich spezifiziert bei MATTAUCH (1974).

Anzuschließen wären weitere Stützen (oft misslich als „Beweise“ bezeichnet) für die Evolution (wie abgestufte Ähnlichkeit in der Keimes-Entwicklung, rudimentäre Organe, Verbreitungsmuster passend zur phylogenetischen Verwandtschaft und zur Kontinentaldrift, insbesondere die Fauna isolierter Inseln wie Galapagos oder Madagaskar; vgl. STORCH et al. 2001, SUDHAUS & REHFELD 1992). Die hohe Übereinstimmung in bestimmten Organen (wie Muskeln), in der Struktur der Zellen und im molekularen Bereich bestärkt ebenfalls die Abstammungslehre. – Vorzustellen wäre dann exemplarisch die Komplexität von Evolution. Sie betrifft zum einen die Evolutions-Geschwindigkeit: Neben einander stehen Unveränderlichkeit über lange Zeiträume hinweg („Lebende Fossilien“ wie der Nautilus), starke Auffächerung in unterschiedliche Lebensformtypen („adaptive Radiation“) in relativ kurzer Zeit (wie die Dinosaurier in der Kreide, die Säugetiere im Tertiär) und Abwandlungsreihen („additive Typogenese“: Evolution der Pferde und der Menschen)<sup>16</sup>. – Die hoch komplexen Leistungen der Evolution veranschaulichen die Angepasstheit an extreme Lebensbedingungen (wie Nahrungserwerb der Pottwale, Brut der Kaiserpinguine), das Nebeneinander von extremem Sexualdimorphismus und hoher Ähnlichkeit der Partner (z.B. Pfau, Haushuhn, Fasan : Rebhuhn, Wachtel) und die unterschiedlichen Beispiele von Co-Evolution (wie Parasitismus, Symbiose, Tarnen & Warnen, Mimese & Mimikry, Blüte & Insekt) deutlich gemacht werden (Beispiele bei ESCHENHAGEN et al. 1991, KÜHNELT 1970, TISCHLER 1993).

## 6 Molekulargenetik und Natürliches System

Gegenwärtig setzt sich mit der molekulargenetischen Systematik ein grundlegend anderes, nominell auch phylogenetisch orientiertes Verfahren zunehmend eigenständig in Szene (zur Methodik KUTSCHERA 2006, REMANE et al. 2001). Sie umgeht die mühsame organismische Phylogenese und ihre Merkmalsbewertung nach ursprünglich und abgeleitet. Ihren Stellenwert begründet sie reduktionistisch mit

---

<sup>16</sup> Das Nebeneinander einzigartiger, aber formenarmer Gruppen und von abgestuft formenreichen Gruppen ist anschaulich und eigentätig im Zoo zu erarbeiten. Ein Lehr-Beispiel sind die großen „Huftiere“. Die Unpaarhufer sind artenarm in drei Typen, den Nashörnern, den Tapiren und den Pferden. Die mit ihnen nicht verwandten Paarhufer sind formenreich mit den Schweineartigen (Schweine, Flußpferde mit großen Eckzähnen, kein Wiederkäuen), den Kamelen (Schwielensohler, keine Hufe, Wiederkäuen und spezialisiertes Blattfresser-Gebiß konvergent) und den übrigen Wiederkäuern: Giraffen mit Knochenzapfen auf dem Kopf, einzigartig, 2 Arten; Geweihträger (wie die Hirsche), relativ formenreich, am gleichen Ort aber nur wenige Arten; Hornträger (mit Rindern, Antilopen, Schafen/Ziegen) sehr formen- und artenreich.

dem des Genoms als Steuerungsbasis. Unausgesprochen bleibt dabei, dass dabei die Zahl von Unterschieden an ausgewählten Teilen des Genoms rechnerisch in Stammbäume umgesetzt werden, dass also nicht nach Innovationen gewichtet wird. Es fehlt auch eine Kontrollmöglichkeit der Befunde an rezenten Formen mit Befunden an Fossilien, da sich das Genom im allgemeinen nicht erhält. Datierungen werden eher spekulativ aus „molekularen Uhren“ für die Genom-Veränderungen abgeleitet, ohne dass deren Mannigfaltigkeit ausreichend berücksichtigt wird (HENKE & ROTHE 1999, 70-71). Die molekulargenetische Klassifikation ist damit eine numerische Klassifikation, die mit der phylogenetischen Systematik vom Prinzip her unverträglich ist. Dennoch werden ihre Ergebnisse (Stammbäume, Datierungen der Gabelstellen) oft unkritisch übernommen, Diskrepanzen mit morphologisch-phylogenetischen Analysen übersehen oder vertuscht. Das erklärt unhaltbare Thesen wie „Der (Mensch als der) dritte Schimpanse“ (DIAMOND 1999<sup>17</sup>; zur Phylogenese des Menschen vgl. dagegen HENKE & ROTHE 1999, SCHRENK 2003). Dieser prinzipielle Mangel wird auch nicht dadurch geheilt, dass es (wie früher auch bei künstlichen Systemen) verschiedentlich Übereinstimmungen in den Ergebnissen beider Arbeitsansätze gibt.

Unabhängig davon liefert die Molekulargenetik zusätzliche Merkmale, die bei schwierigen Gruppen besser differenzieren helfen, gerade wenn dort die eigentlich gewünschte phylogenetische Analyse wegen der Komplexität nur eingeschränkt möglich ist.

### **Didaktischer Hinweis:**

Zu vermeiden ist ein unkommentiertes Nebeneinander von sich widersprechenden Ergebnissen<sup>18</sup>, vielmehr sind die verschiedenen Methoden gegenüberzustellen

---

<sup>17</sup> Diese These wurde auch in ein aktuelles Hochschullehrbuch (KUTSCHERA 2006) undifferenziert übernommen, überdies in Verbindung mit einer fehlerhaften Abbildung (12.2/S.266), bei der z.B. die Greifzehe beim Schimpansenfuß fehlt).

<sup>18</sup> Als Beispiel sei auf ESCHENHAGEN et al. (1998: 177ff.) verwiesen. Die drei Stammbäume zum rezenten Menschen und den Menschenaffen zeigen unkommentiert verschiedene Gabelstellen für den Menschen und sind damit unvereinbar. Sie repräsentieren jedoch unterschiedliche Positionen: Schwestergruppen für den Menschen sind beim molekularen Stammbaum (S.182) entsprechend der molekulargenetischen Nähe die Schimpansen, beim Kladogramm (S.199b) entsprechend der aktuellen Präferenz die afrikanischen Menschenaffen, bei der Abb. zu Verwandtschaft und evolutionärem Abstand (S.199a) entsprechend der klassischen Auffassung alle großen Menschenaffen (vgl. AX 1984, HENKE & ROTHE 1999). Zu beachten ist dabei, dass die Menschenlinie durch Fossilien gut belegt ist, die Linie zum Orang auch fossile Belege hat, während sie für die afrikanischen Menschenaffen völlig fehlen. Das erschwert die Rekonstruktion der gemeinsamen Stammform.

und ihre Stärken und Schwächen in dem konkreten Einzelfall aufzuzeigen. Hinsichtlich der afrikanischen Menschenaffen und der Menschenlinie wird deren morphologisch-funktionale Besonderheit bei gezielten Beobachtungen im Zoo auch für Schüler offenkundig (s.o.). Die molekulare Nähe ist also ein Artefakt! Sie wird dadurch vorgetäuscht, dass offensichtlich irrelevante Teile des Genoms das Ergebnis bestimmen. Das galt übrigens auch schon für die früher üblichen biochemischen Beispiele<sup>19</sup>.

## 7 Der Startpunkt von Evolution

Das fundamentale Werk zur Evolution von DARWIN (1859) setzt klar die Artaufspaltung als den Startpunkt von Evolution<sup>20</sup>. Das ist sachlogisch überzeugend. Zu bedenken ist jedoch, dass die Artaufspaltung (z.B. bei Säugetieren und Vögeln) kein einfach greifbarer Prozeß ist, sondern i.d.R. lange Zeiträume in Anspruch nimmt. So hat nach gängiger Auffassung die lange Isolation von eiszeitlichen Refugien (Dauer der letzten Vereisung etwa 100.000 Jahre) bei der Aaskrähe nur zu Unterarten (Raben-, Nebelkrähe in Europa), bei der Nachtigall/ dem Sprosser zu fast getrennten Arten, bei Zilpzalp und Fitis zu Schwesterarten geführt. Diese Zeiträume sprengen die Dimension naturwissenschaftlicher Untersuchungen! Das bedeutet, dass die Artaufspaltung in einem naturwissenschaftlich schwer fassbaren Übergangsfeld des Paradigmas der funktionalen Zusammenhängen zu dem der Geschichtlichkeit liegt und sich beiden entzieht.

### Die Verwechslung von Ökologie mit Mikro-„Evolution“

Voraussetzung für das Verständnis von Evolution ist die aktuell nachweisbare Veränderlichkeit der Arten durch Mutationen oder Adaptationen im ökologischen Kontext („Mikro-Evolution“). Dazu gehört die Züchtung als ein Großexperiment mit der Selektion und der sexuellen Isolation als Methode, dabei auch zufällige Mutationen ausnutzend. Die Züchtung hat aber bei Haustieren nicht aus dem Art-Niveau herausgeführt (HERRE & RÖHRS 1990), Kulturpflanzen sind komplexer. Andere Beispiele bietet die Adaptation an besondere oder wechselnde Umweltbedingungen. Hier können auch Mechanismen experimentell

---

<sup>19</sup> Wie die immunologische Verwandtschafts-Bestimmung durch die Präzipitin-Reaktion (Ausfällreaktion im immunisierten Serum).

<sup>20</sup> Auf die Problematik und Komplexität des Artbegriffes (einschließlich der schwierigen zeitlichen Begrenzung bei Fossilien, auch bei Abwandlung der Gestalt) kann hier nicht eingegangen werden (vgl. WILLMANN 1985, didaktische Analyse mit praktischer Arbeit im Zoo bei SCHMIDT 2002).

nachgewiesen werden (wie bei der Fitness-Theorie der Ethologie). Derartige Beispiele erreichen die Schulbiologie allerdings oft verkürzt oder fehlerhaft, was den Bildungsanspruch einschränkt. In diesem Zusammenhang sei auf den Industrie-Melanismus beim Birkenspanner hingewiesen (s. Kasten 4).

Das gilt auch für die Fitness-Theorie. Hier wird nämlich selbst in Hochschul-lehrbüchern nicht berücksichtigt, dass viele Arten z.B. durch Migrationen (ggf. nur in passenden Jahren) temporär/lokale Allelverluste ausgleichen und lokale Neuerwerbungen innerhalb der Art verbreiten können. Evolution bedeutet dagegen (zumindest in der Theorie bei Artaufspaltungen) die definitive Verabschiedung von Allelen, bei den Apomorphien der Gewinn von neuen (z.B. durch Mutationen), die überdies noch arttrennend wirken müssen (Ausnahme bei isolierten Arealen

#### **Kasten 4**

##### **Industrie-Melanismus beim Birkenspanner**

Der Name „Birkenspanner“ rührt (wie in der Lepidopterologie üblich) von einer der Futterpflanzen der Raupen her. Unter Industrie-Melanismus versteht man den Ersatz der hellen Morphe des Birkenspanners im Gefolge der Industrialisierung durch die dunkle. Unzureichend berücksichtigt bleiben dabei vielfach die Flechten-Mimese der hellen Form (Zeichnungsmuster passend zu den Mustern der hellen Parmelien auf der dunklen Borke unterer Stammabschnitte von Birken, Eichen, Kiefern u.a.) und die Dialektik von Tarnung und Thermik in kritischen Bereichen (wie Gebirge, hoher Norden, maritimes Klima: Gebirgs-, Küsten-Melanismus). Der entscheidende Schlüsselfaktor beim Industrie-Melanismus des Birkenspanners ist die  $\text{SO}_2$ -Belastung der Rauch-Abgase der Industrie, die die Flechten eliminiert und damit die dunklen Borken (auch der Birke) exponiert. Auf der hellen Rinde der oberen Stammabschnitte der Birke wäre auch die helle Morphe optisch nicht gut getarnt, die oft genannte Ruß-Schwärzung dieser Rinde war nur sehr lokal und temporär gegeben! Mit der Rauchgas-Entschwefelung kamen die Flechten und damit die helle Morphe wieder. So ist der Industrie-Melanismus des Birkenspanners ein gutes Beispiel für reversible Adaptation (als Allelverschiebung innerhalb der Population) an wechselnde Umweltbedingungen unter Ausnutzung der Reaktionsnorm (im Sinne von Allel- und Adaptations-Potential) der Art, ein Kapitel der Ökologie (fehlerhaft z.B. bei KUTSCHERA 2006).

wie auf Inseln). Bastardierungen sind dabei als ein Mechanismus zu verstehen, der das wieder heilt und zugleich die Allel-Vielfalt erhöht. – Damit ist der Begriff „Mikro-Evolution“ im vorstehenden Sinne irreführend und unnötig. Die vorstehend genannten Anpassungsstrategien an veränderte Milieu-Bedingungen sind unter diesem Stichwort in den Kontext Ökologie zu stellen (entgegen z.B. STREIT 1990). Dabei ist auch der Bezug zur Genetik hilfreich (entgegen BAALMANN et al. 2005), während bei fossilen Formen im allgemeinen nicht auf das Genom zurückgegriffen werden kann. Die Züchtung fällt dabei heraus, da hier aus der Zielsetzung der menschlichen Manipulation heraus argumentiert wird. Sie aber ist in der Natur biologisch nicht nachweisbar.

### **Der didaktische Stellenwert von Unterarten für die Evolutionsbiologie**

Zu der Veränderlichkeit innerhalb der rezenten Arten gehört auch der Langzeitprozess der Artaufspaltung. Das ist ein Thema aus dem Grenzbereich von dem Paradigma der funktionalen Zusammenhänge und dem der Geschichtlichkeit<sup>21</sup>. Die Artaufspaltung ist daher den vorstehenden Argumentations-Schemata nicht einfach zuzuordnen, sondern als diffiziles Übergangsfeld gesondert zu betrachten. – Indiz dafür, dass sich eine Art im Langzeitprozess der Aufspaltung befindet, ist die Ausbildung von Unterarten (subspecies: genetisch verschiedene, geografisch mit Übergangszonen getrennte Teile der Art). Sie belegt die Unterbrechung des Genflusses bzw. die Begrenzung auf Übergangszonen in Teilen des Areals. Sie stützte sich bislang (aus technischen Gründen) oft auf Farbmuster, molekulargenetisch wurde das Feld erheblich erweitert. Dabei sind die Menschenrassen biologisch als Unterarten der einzigen rezenten Art *Homo sapiens* zu verstehen (Rassen sind im Deutschen Zuchtformen von Tieren). Die Eigenarten der Menschen-„Rassen<sup>22</sup>“ sind jedoch vielfach durch Vermischungen unscharf geworden (z.B. durch Kolonisierung, Fernwanderungen/-transporte, Globalisierung), etliche sind untergegangen. Das ist ein Beispiel dafür, dass ein Beginn von Evolution (regionale Untergliederung der Art) wieder relativiert

---

<sup>21</sup> Der Einfachheit halber sollte didaktisch die Behandlung auf Beispiele bei Vögeln und Säugern beschränkt werden, bei denen der biologische Artbegriff fasst (SCHMIDT 2002).

<sup>22</sup> Es ist darauf hinzuweisen, dass der Begriff „Rassismus“ oft irrtümlich biologisch missverstanden, also auf physische Kennzeichen der Unterarten („Rassen“) bezogen wird. In Wahrheit stehen ethno-kulturelle Grenzziehungen bzw. Konflikte im Mittelpunkt, oft sind es religiöse oder ideologische Gegensätze (wie bei Glaubenskriegen bzw. Klassenkämpfen). Wenn physische Unterschiede („Farbige“ : „Weiße“) damit verbunden sind, dann dienen sie nur vordergründig als Klassen-Kennzeichen.

werden kann. Auch die großen Menschenaffen sind vielfältig in Unterarten bzw. Zwillingarten gegliedert, also evolutiv aktiv<sup>23</sup>.

## 8 Zum didaktischen Umgang mit den Evolutionsmechanismen

Es war eingangs hergeleitet worden, dass die Theorien zu Evolutionsmechanismen (wie der DARWINSchen Selektionstheorie) prinzipiell außerhalb einer positivistischen Evolutionsbiologie liegen, vielmehr der Naturphilosophie oder Weltanschauungen zuzuordnen sind. Diese Grenzziehung ist zugleich die Grenze zwischen objektiv überprüfbar und damit (aktuell) verbindlichen Aussagen und subjektiven Meinungen. Es gehört zum Wesen des Menschen, das hinter dem Erfahrbaren Stehende mit diesem zu einem Bild zu vereinen. Der Biologe muss sich auf das objektiv Erfahrbare beschränken, als Mensch sollte er das in sein persönliches, weiter gehendes Weltbild einordnen. Bei den Evolutionsmechanismen werden beide Aspekte vermengt und dennoch als Biologie ausgegeben. Das entspricht leider dem gängigen Lehrkanon in Hochschul-Lehrbüchern und damit auch in der Schule. Dabei werden überdies die Theorien zu Evolutionsmechanismen oft noch als Einstieg in die Evolutionsbiologie gewählt (wie bei ESCHENHAGEN et al. 1998, KUTSCHERA 2006, STORCH et al. 2001)<sup>24</sup>.

Ein bildender Unterricht zur Evolutionsbiologie kann daher die Evolutionsmechanismen nicht einfach negieren, sondern muss sie auf der Basis des vorstehenden Konzeptes kritisch hinterfragen. Das bedeutet zunächst die erkenntniskritische Ausgrenzung aus der Biologie als Naturwissenschaft und Zuweisung zur Naturphilosophie (s.o.). Als nächstes wären als Beitrag zur Ideengeschichte der Biologie die verschiedenen Vorstellungen (von LAMARCK über DARWIN bis zur Synthetischen Evolutionstheorie in verschiedenen Varianten, Übersicht bei WUKETITS 1988) zu erarbeiten. Dann wäre danach zu fragen, wieso

<sup>23</sup> Bei den Schimpansen ist der Bonobo eine geografisch durch den Kongo getrennte Zwillingart des Schimpansen i.e.S., Schwarz-, Weißgesichts-, Schweinfurth-Schimpanse sind drei allgemein anerkannte Unterarten; Flachland- und Berg-Gorilla werden auch als Zwillingarten aufgefasst, ersterer mit zwei Unterarten, dem Ost- und dem West-Flachlandgorilla; beim Orang gelten der Borneo- und der Sumatra-Orang als Unterarten (EIGENER 1977).

<sup>24</sup> Das widerspricht den Grundsätzen naturwissenschaftlicher Arbeit ebenso wie den Prinzipien eines bildenden Biologie-Unterrichts (SCHMIDT 2003b). Auch wenn von einer Arbeitshypothese auszugehen ist, so soll doch die Beobachtung am Anfang stehen, sie ist Grundlage für die Deutung als Theoriebezug (im Sinne des Bestätigens, des Verwerfens oder der Abwandlung der Arbeitshypothese) mit Einordnung in größere Zusammenhänge. Dabei setzt Abstammungslehre (als Theorie-Bezug) die Kenntnis der ausgewählten Formen voraus. Erst auf dieser Basis können Arbeits-Hypothesen zur natürlichen Verwandtschaft formuliert werden.

eine derartige Grenzüberschreitung so bedenkenlos und in dieser Breite in den wissenschaftlichen Lehrkanon (und damit auch in das Schulpensum) integriert werden konnte und wird. Damit wird dann zugleich klar gestellt, wo die Frontlinie bei Auseinandersetzungen mit anti-evolutionistischen Dogmen (wie die der Kreationisten) wirklich liegt und wie damit im Biologie-Unterricht umzugehen ist. Die letzten beiden Punkte werden nachstehend diskutiert.

Die Evolutions-Mechanismen verlegen die Erklärung der Evolution in die Materie und ihre Kräfte. Das entspricht einem Materialismus, der sich als philosophisches System maßgeblich auf eine verabsolutierte Naturwissenschaft stützt (SACHSSE 1968, sowie KUHN 1969). Dieser Materialismus nimmt die Sinneswahrnehmungen und die Erfahrungen als die eigentliche Realität und leugnet das KANTISCHE „a priori“ ebenso wie Religionen und andere Weltanschauungen. Er korrespondiert mit dem Reduktionismus in der Naturwissenschaft, also dem Zurückführen der Lebenserscheinungen auf physiko-chemische Grundlagen. Überdies wurde mit NEWTON (um 1700, „Axiome der Mechanik“) das Streben nach Naturgesetzen („Mechanismen“) zum Vorbild auch für die Biologie.

Der (sozialistische) Materialismus wurde im Gefolge der französischen Revolution (1789) befördert und im 19. Jahrhunderts vertieft. Er wirkt bis heute noch, war im 20. Jahrhundert die zentrale Weltanschauung als „Marxismus-Leninismus“ in weiten Teilen der Welt. Gleichzeitig wurde die Autorität der christlichen Kirchen demontiert. Diesem Zeitgeist kamen und kommen die Evolutionsmechanismen als reduktionistisch/ materialistische „Erklärungen“ der Evolution entgegen.

Damit sind auch zwei Richtungen, aus denen die Kritik kommen kann, deutlich:

- Erkenntniskritische Ablehnung der Grenzüberschreitung aus der positivistischen Biologie heraus (wie in diesem Beitrag; vgl. z.B. SACHSSE 1968, 220-221)
- Ablehnung der atheistischen Grenzüberschreitung durch christliche (oder ± pantheistische) Dogmen mit Schöpfungsglauben unterschiedlicher Fassung (Kreationismus, Scientifizismus, „intelligent design“).

Im Biologie-Unterricht muss deutlich gemacht werden, dass Theorien zu Evolutions-Mechanismen, die außerhalb der Biologie als Wissenschaft liegen, sich aber mit dem „geborgten“ Glanz der Naturwissenschaft zu Unrecht schmücken, in besonderem Maße mit anderen Weltanschauungen konkurrieren und damit kollidieren (vgl. KUTSCHERA 2004). Diese Auseinandersetzung darf aber die

objektive Evolutionsbiologie nicht beschädigen, sondern ist auf den Feldern der Naturphilosophie, der Weltanschauungen und Dogmen auszutragen. Das bedingt eine Querverbindung zu den Fächern Philosophie und Religion.

### **Didaktische Zusammenfassung**

Die Zielsetzungen eines bildenden Biologieunterrichtes zum Thema Evolution (in der Gymnasialen Oberstufe) werden am besten mit den folgenden Fassungen zum Begriff Evolutionsbiologie erreicht:

- Evolution wird als Stammesgeschichte (Deszendenztheorie, Phylogenese: genealogisches Stammbaum-Modell) nach dem Paradigma der Geschichtlichkeit verstanden. Sie ist für Schüler nicht selbstverständlich und daher ist anschaulich (z.B. in Naturkunde-Museen) an Fossilreihen (z.B. Ammoniten, Pferde, Mensch) herzuleiten. Evolution beginnt mit dem Langzeitprozess der Artaufspaltung (aktuelles Indiz: Aufspaltung in Unter-, Schwesterarten).
- Die etablierte Theorie zur Rekonstruktion von Evolutionswegen als Anzeiger von natürlicher Verwandtschaft ist die Theorie der Phylogenetischen Systematik, inkonsistent dazu ist das Verfahren der molekularbiologischen Genom-Systematik. Die Evolution des Menschen ist zur Einführung in die Problematik didaktisch gut geeignet.
- Evolutions-Mechanismen vertragen sich nicht mit dem Paradigma der Geschichtlichkeit, denn eine experimentelle Kausalanalyse nach dem üblichen Schema (Faktoren-Manipulation unter definierten Bedingungen) ist ausgeschlossen. Die gängigen Darwinismus-Theorien dazu liegen damit außerhalb der objektiv/ positivistischen Naturwissenschaft Biologie, sie sind als materialistische Ideologie der Naturphilosophie (Metaphysik) zuzuordnen oder stellen eine persönliche Weltanschauung dar, sie sind damit eine individuelle Alternative zum Schöpfungsglauben der christlichen Religionen (einschließlich des Kreationismus) oder zu einem Pantheismus (wie intelligent design).
- Die aktuelle innerartliche Variabilität kann oft auf Selektion zurückgeführt werden und gehört dann (als Teil von Überlebensstrategien) zur (Populations-) Ökologie im Kontext Genetik. Der Begriff „Mikro“-Evolution entfällt damit, ebenso das Pendant „Makro“-Evolution.

## 9 Fazit

Insgesamt ist damit die Evolutionstheorie (im Sinne von Abstammungslehre/ Deszendenztheorie/ Phylogenese) mit genealogischem Stammbaum-Schema der Evolution<sup>25</sup> als eine besonders gut gesicherte Theorie der Biologie den Schülern verständlich zu machen. Die heutige Organismen-Welt entspricht in dem Bild der Knospzone am Rand des Kronendaches eines Baumes. MAYR (1998) spricht daher (erkenntnistheoretisch unzulässig) sogar davon, dass Evolution nicht nur eine Theorie, sondern eine Tatsache sei. Die Phylogenese im vorstehenden Sinne ist als Theorie der („Makro“-) Evolution<sup>26</sup> seit langem so gesichert, dass die Evolutionsabläufe zur Grundlage für das „Natürliche System“ gewählt wurden. Damit ergibt sich ein Theorie-Zusammenhang mit der Systematik (als Lehre von der Formenmannigfaltigkeit) und der Taxonomie (als Lehre von der Einordnung von Organismen in das „Natürliche System“) mit Auswirkungen auf die Begriffe.

Die Evolutionstheorie in diesem Sinne ist somit eine eigenständige, deutlich über die beobachtbaren Fakten hinausgehende, entscheidende Zusammenhänge in vielen Bereichen der Biologie liefernde Theorie (entgegen KATTMANN in SCHMIDT & KATTMANN 2006). Das wollte wohl das oben genannte Zitat von DOBZHANSKY eigentlich ausdrücken. Der Bildungswert einer Evolutionsbiologie in diesem Sinne ist unstrittig. Er dürfte mit dem vorstehend skizzierten Konzept bereinigt und verbessert werden.

## Literatur

- AUFFERMANN, B. & J. ORSCHIEDT (2006): Die Neandertaler. Auf dem Weg zum modernen Menschen. – Theiß, Stuttgart
- AX, P. (1984): Das Phylogenetische System. Systematisierung der lebenden Natur aufgrund ihrer Phylogenese. – Fischer, Stuttgart
- BAALMANN, W., V. FRIEDRICHS & U. KATTMANN (2005): Genetik im Kontext von Evolution. Oder: Warum die Gorillas schwarz wurden. – MNU **58** (7), 420-427
- BERCK, K.-H. (2001): Biologiedidaktik. Grundlagen und Methoden. – 2. Aufl., Quelle & Meyer, Wiebelsheim
- DARWIN, C. (1859): On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life. – Murray, London
- DIAMOND, J. (1999): Der dritte Schimpanse. Evolution und Zukunft des Menschen. – 2. Aufl., Fischer, TB, Frankfurt/M

---

<sup>25</sup> Frühe Stammbaum-Bilder von Haeckel finden sich bei STIPF (1989).

<sup>26</sup> Sie wird bei OSCHKE (1973) transspezifische Evolution genannt.

- EIGENER, W. (1977): Enzyklopädie der Tiere. Bd. 2 (Vögel & Säugetiere). – 2. Aufl., Westermann/Pawlak, Herrsching
- ESCHENHAGEN, D., U. KATTMANN & D. RODI (Hrsg., 1991): Handbuch des Biologie-Unterrichts SI, Band 8 Umwelt (Hrsg. R. HEDEWIG, U. KATTMANN & D. RODI). – Aulis/Deubner, Köln
- ESCHENHAGEN, D., U. KATTMANN & D. RODI (Hrsg., 1998): Handbuch des Biologie-Unterrichts SI, Band 7 Evolution (Hrsg. R. HEDEWIG, U. KATTMANN & D. RODI). – Aulis/Deubner, Köln
- FUTUYMA, D. (1990): Evolutionsbiologie. – Birkhäuser, Basel
- GUTMANN, W. (1995): Die Evolution hydraulischer Konstruktionen. Organismische Wandlung statt altdarwinistischer Anpassung. – 2. Aufl., Kramer, Frankfurt/M
- HANTKE, R. (1992): Das Eiszeitalter. Die jüngste Erdgeschichte der Alpen und ihrer Nachbargebiete. – Ecomed, Landsberg
- HENKE, W. & H. ROTHE (1999): Stammesgeschichte des Menschen. Eine Einführung. – Springer, Berlin
- HENNIG, W. (1950): Grundzüge einer Theorie der phylogenetischen Systematik. – Deutscher Zentralverlag, Berlin
- HENNIG, W. (1969): Die Stammesgeschichte der Insekten. – Kramer, Frankfurt/M
- HERRE, W. & M. RÖHRS (1990): Haustiere, zoologisch gesehen. – 2. Aufl., Fischer, Stuttgart
- JAHN, I. & M. SCHMITT (Hrsg., 2005): Darwin & Co. Eine Geschichte der Biologie in Portraits. Bd. I – Beck, München
- JUNGE, F. (1885): Der Dorfteich als Lebensgemeinschaft nebst einer Abhandlung über Ziel und Verfahren des naturgeschichtlichen Unterrichts. – Lipsius & Tischer, Kiel
- W. RIEDEL & G. TROMMER (Hrsg., 1985): Faksimile der 3. (posthumen) Auflage von 1907 mit aktuellem Kommentar durch die Herausgeber. – Lühr & Dircks, St. Peter-Ording
- KAESTNER, A. (BEGRÜNDER) & H.-E. GRUNER (Hrsg., 1993): Lehrbuch der Speziellen Zoologie. Bd.I Wirbellose Tiere. 3.Teil Mollusca etc.. – 5. Aufl., Fischer, Stuttgart
- KOENIGSWALD, W.V. (2002): Lebendige Eiszeit. Klima und Tierwelt im Wandel. – Thiess, Stuttgart
- KOENIGSWALD, W.V. & G. STORCH (Hrsg., 1998): Messel. Ein Pompeji der Paläontologie. – Thorbecke, Sigmaringen
- KOEPCKE, H.-W. (1973/74): Die Lebensformen. Grundlagen zu einer universell gültigen biologischen Theorie. – 2 Bände, Goecke & Evers, Krefeld
- KUHN, W. (1966): Exemplarische Biologie in Unterrichtsbeispielen. – List, München
- KÜHN, H. (1988): Eiszeitmalerei. 50000-10000 v. Chr.. – Piper, München
- KÜHNELT, W. (1970): Grundriß der Ökologie. – 2. Aufl., Fischer, Stuttgart

- KUTSCHERA, U. (2004): Streitpunkt Evolution. Darwinismus und Intelligentes Design. – Lit, Münster
- KUTSCHERA, U. (2006): Evolutionsbiologie. – 2. Aufl., Ulmer, Stuttgart
- LAMARCK, J.B. (1909): Philosophie zoologique. – 2 Bde, Chez Dentu, Paris
- LAMBERT, D. (1999): Der neue große Bildatlas der Dinosaurier. – Mosaik, München
- LAMPERT, W. & U. SOMMER (1999): Limnoökologie. – 2. Aufl., Thieme, Stuttgart
- LINNAEUS, C. (1758): Systema naturae per regnia tria naturae. Tomus I. – 10. Aufl., Salvius, Holmiae (Stockholm). – Faksimile, British Mus. (Nat. Hist.), London, 1956
- LORENZ, K. (1978): Vergleichende Verhaltensforschung. Grundlagen der Ethologie. – Springer, Wien
- LORENZEN, S. (1989): Evolution im Spannungsfeld zwischen linearer und nichtlinearer Wissenschaft. – Universitas 12/1989: 1149-1159
- MATTAUCH, F. (1974): Phylogenie und Paläontologie. – S.4-210 in H.-H. FALKENHAN (Hrsg.): Handbuch der praktischen und experimentellen Schulbiologie. Band 4/II Der Lehrstoff III: Allgemeine Biologie. – Aulis, Köln
- MAYR, E. (1998): ...Das ist Biologie...Die Wissenschaft des Lebens. – Spektrum, Akademischer Verlag, Heidelberg
- MUNDLOS, R. (1979): Wunderwelt im Stein. Fossilfunde, Zeugen der Urzeit. – Mosaik, München
- OSCHE, G. (1973): Evolution. Grundlagen, Erkenntnisse, Entwicklungen der Abstammungslehre. – 2. Aufl., Herder, Freiburg
- REMANE, A. (1956): Die Grundlagen des natürlichen Systems, der Vergleichenden Anatomie und der Phylogenetik. – 2. Aufl., Geest & Portig, Leipzig
- REMANE, A., V. STORCH & U. WELSCH (1973): Evolution. Tatsachen und Probleme der Abstammungslehre. – dtv, München
- REMANE, A. (BEGRÜNDER), V. STORCH & U. WELSCH (Begründer & Bearbeiter, 1997): Systematische Zoologie. – 5. Aufl., Fischer, Stuttgart
- RICHTER, A. (1994): Die Ammoniten. Überlieferung Formen, Entwicklung, Lebensweise, Systematik, Bestimmung. Ein Kapitel aus dem Entwicklungsprogramm des Lebens. Gondrom, Bindlach (Sonderausgabe; ursprünglich 1982 bei Franckh/Kosmos, Stuttgart)
- ROMER, A. (1970): Entwicklungsgeschichte der Tiere I (Band 2 der „Enzyklopädie der Natur). – Rencontre Lausanne
- ROTHE, P. (2000): Erdgeschichte. Spurensuche im Gestein. – Wiss. Buchges., Darmstadt
- SACHSSE, H. (1968): Die Erkenntnis des Lebendigen. – Vieweg, Braunschweig
- SCHMIDT, E. (2002): Studien zur Evolution vor Ort: Das Thema „Art und Artbildung“ anschaulich am Beispiel der Zebras in Zoo und Museum. – Tier & Museum (Bonn) 8 (1/2), 22-36

- SCHMIDT, E. (2003a): Zur Diskussion: Eine didaktisch-erkenntnistheoretische Analyse naturwissenschaftlichen Zulässigkeit von Theorien über Evolutionsmechanismen (wie der Selektionstheorie von DARWIN). – Ber. Inst. Didaktik Biologie [IDB Münster] **12**, 89-104
- SCHMIDT, E. (2003b): Zur Diskussion gestellt: Ein Leitziel-Katalog zur formalen Bildung im Biologieunterricht. Die didaktische Rekonstruktion nach dem Prinzip des Exemplarischen und des Arbeitsunterrichtes. – MNU **56** (6), 371-374
- SCHMIDT, E. & U. KATTMANN (2006): Diskussion und Kritik (Schmidt zu Baalman et al. 2005) und die Antwort von Ulrich Kattmann. – MNU **59** (6), 364-368
- SCHRENK, F. (2003): Die Frühzeit des Menschen. Der Weg zum Homo sapiens. – Beck, München
- STIPF, R. (1989): Evolution - Geschichte einer Idee. Von der Antike bis Haeckel. – Metzler, Stuttgart
- STORCH, V., U. WELSCH & M. WINK (2001): Evolutionsbiologie. – Springer, Berlin
- STREIT, B. (Hrsg., 1990): Evolutionsprozesse im Tierreich. – Birkhäuser, Basel
- SUDHAUS, W. & K. REHFELD (1992): Einführung in die Phylogenetik und Systematik. – Fischer, Stuttgart
- TIME-LIFE-BUCH (1976): Ökologie. – rororo-TB, Rowohlt, Hamburg
- TISCHLER, W. (1993): Einführung in die Ökologie. – 4. Aufl., Fischer, Stuttgart
- UEXKÜLL, J.v. (1956): Steifzüge durch die Umwelten von Tieren und Menschen. Bedeutungslehre. (Vorwort: A. Portmann). – rororo-TB, Rowohlt, Hamburg
- WILLMANN, R. (1985): Die Art in Raum und Zeit. Das Artkonzept in der Biologie und Paläontologie. – Parey, Hamburg
- WUKETITS, F. (1988): Evolutionstheorien. Historische Voraussetzungen, Positionen, Kritik. – Dimensionen der modernen Biologie 7. – Wiss. Buchges., Darmstadt
- YOUNG, D. (1994): Die Entdeckung der Evolution. – Birkhäuser, Basel u.a.

## **Verfasser**

Prof. em. Dr. Eberhard G. Schmidt

p: Coesfelder Str. 230, 48249 Dülmen.

d: Biologie und ihre Didaktik, Postfach S05, Universität Duisburg/Essen, 45117 Essen.