Ökologische Katastrophen oder ökologische Gleichgewichte: Welche ökologischen Prozesse sorgen für die Entstehung und Erhaltung der Artenvielfalt?[1)]

von Georg Menting, Lippstadt

1. Einführung

Mein erster Gedanke als ich das Zirkular zum Symposium »Landschaftsplanung contra Evolution« in den Händen gehalten habe, war: Welcher Teufel ist in denn nun in den Naturschutz gefahren, dass er die Landschaftsplanung, die doch wahrlich schon genug Probleme hat, ökologischen oder planerischen Ansprüchen gerecht zu werden [vgl. z. B. MENTING 1988 oder MENTING & HARD 2001], nun auch noch an evolutionsökologischen Zielsetzungen messen möchte[2)]. Mein zweiter Gedanke war, welchen Sinn macht es evolutive Prozesse, die sich nach allgemeiner Auffassung – zumindest wenn es um Artbildung geht – in Größenordnungen von einigen bis vielen Millionen Jahren vollziehen sollen, bei der Landschaftsplanung zu berücksichtigen, in der Zeithorizonte von einigen Jahren bis maximal wenigen Jahrhunderten relevant sind. Mein dritter und für diesen Beitrag ausschlaggebender Gedanke betraf eine paradoxe Bemerkung des bekannten amerikanischen Evolutionsbiologen NILES ELDREDGE [1997], die ich in seinem Buch »Wendezeiten des Lebens: Katastrophen in der Erdgeschichte« gelesen hatte und die wie folgt lautet: »Evolution hängt so sehr vom Aussterben ab, dass es beinahe eine schöpferische Rolle in der Geschichte des Lebens spielt«. Diese Bemerkung, die weder so recht zu den üblichen evolutionstheoretischen Auffassungen von der Entstehung der Artenvielfalt durch allmähliche Anpassung an sich verändernde Umweltbedingungen noch zu der allseits beklagten Vernichtung der biologischen Vielfalt durch die moderne Industriegesellschaft passen will, enthält meines Erachtens genug Konfliktpotential, um hier näher diskutiert zu werden. Was also steckt hinter ELDREDGE's irritierender Ein-

---

[1] Aktualisierte Fassung eines Vortrages, den ich 2001 auf dem Symposium »Landschaftsplanung contra Evolution« in Brakel gehalten habe. Die Veröffentlichung des Beitrages im gleichnamigen Tagungsband ist der Zensur der Herausgeber Prof. Dr. BERND GERKEN u. MARTIN GÖRNER zum Opfer gefallen. Zu Einzelheiten des Umgangs von GERKEN mit Kritikern vgl. die einleitende Fußnote zu meinem Beitrag »Der Naturschutz und der Tod der großen Säuger«..

[2] Die Wahl des extravaganten Themas lässt sich am Besten wie folgt erklären: GERKEN hatte zwischen 1995 u. 2000 bereits vier fast gleichlautende Tagungen bzw. »internationale« Symposien zur Landschaftsentwicklung mit Großsäugern organisiert. Es war daher zu befürchten, dass bei erneuter Wiederholung den Referenten die Themen ausgehen und beim Publikum das Interesse nachlässt. Ein Ausweg aus diesem Dilemma bot die Idee, die Landschaftsentwicklungsthematik mit einem aktuellen Thema wie »Evolution« zu kontrastieren. Diese Strategie war allerdings - wie sich bald zeigte - nicht unproblematisch. Die weitaus überwiegende Zahl der Referenten war von der speziellen Thematik hoffnungslos überfordert. Das Scheitern des Symposiums konnte aber dadurch verhindert werden, dass die Referenten – vermutlich in interner Absprache mit Herr Gerken – zu beliebigen Themen aus dem Bereich Naturschutz und Landschaftsplanung vortragen durften. Um zumindest eine oberflächliche Nähe zum eigentlichen Thema des Symposiums herzustellen, wurde der Begriff »Evolution« dann häufig umgangssprachlich im Sinne von »Entwicklung« oder »Wandel« (Naturraumentwicklung, Landschaftswandel etc.) ausgelegt. Das tatsächliche Vortragsspektrum reichte dann von Fledermäusen in der Landschaft über Renaturierungsprogramme am Niederrhein bis hin zur Naturentfremdung bei Kindern.

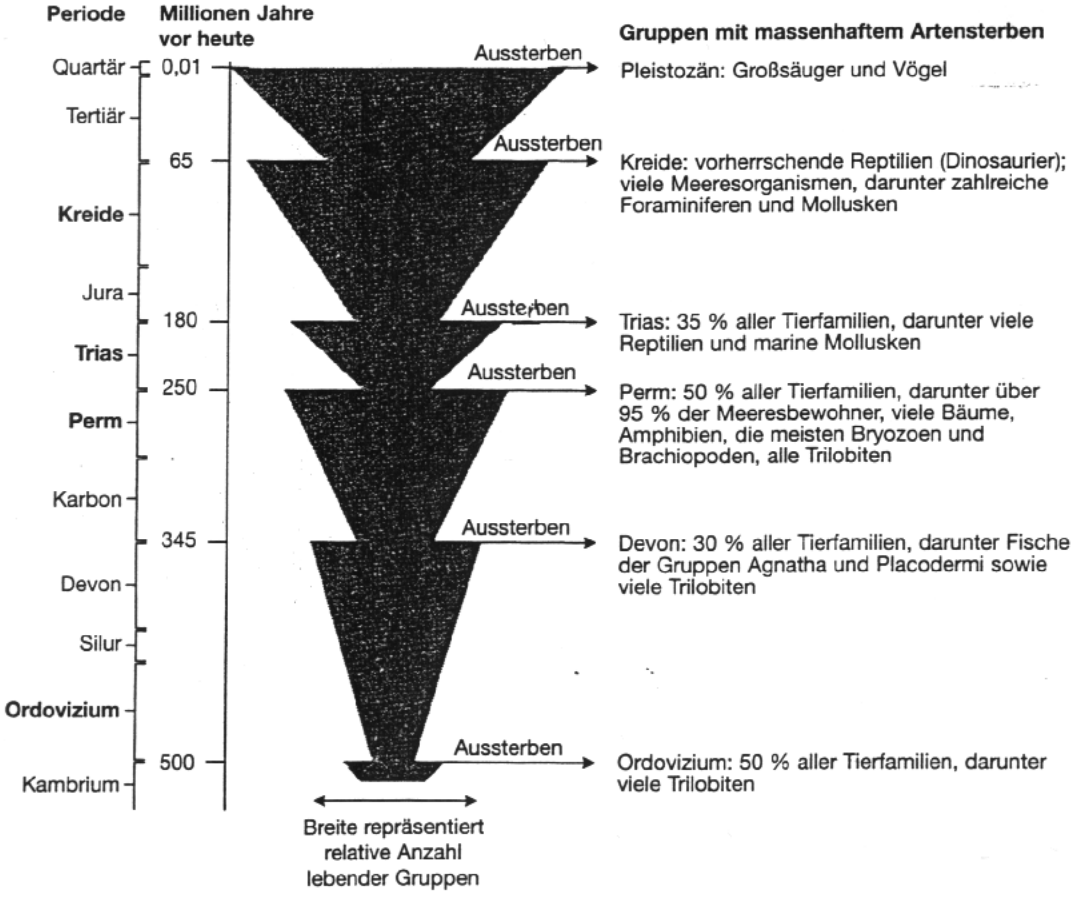
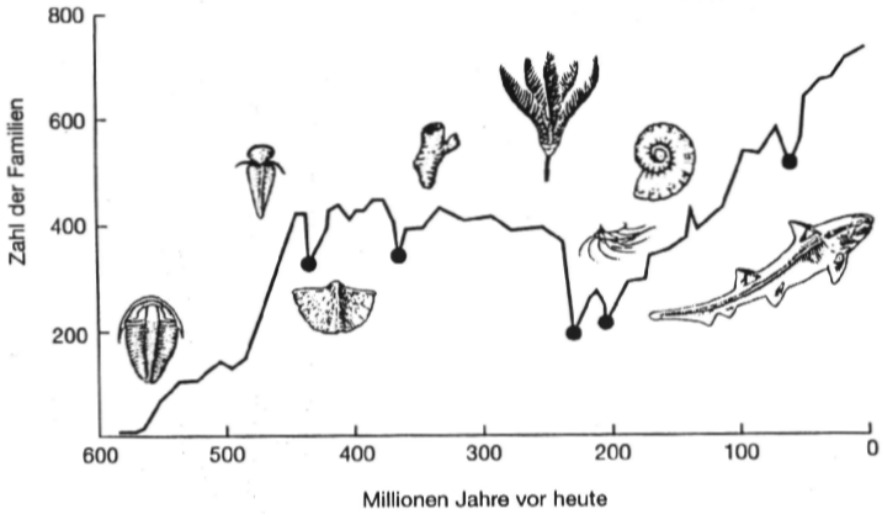


Abb. 1 (oben): Große Massensterben in der Erdgeschichte. Das Massensterben am Ende des Ordoviziums ist graphisch versehentlich am Ende des Kambriums dargestellt worden [aus: PRIMACK 1995]. **Abb. 2** (unten): Massenentfaltungen nach Massensterben bei Meeresorganismen. Die schwarzen Punkte markieren die großen Aussterbewellen. Da nicht die Entwicklung der Arten, sondern der Familien dargestellt wird, wirken die Einschnitte weniger eindrucksvoll als in Abb. 1 [nach WILSON, aus: PRIMACK 1995].



schätzung, dass naturhistorisch betrachtet Artensterben und Artenvielfalt zwei Seiten der gleichen Medaille, d. h. zugleich auslöschender Supergau und schöpferischer Neubeginn sind? Und lassen sich darüber hinaus aus der Erklärung dieses Paradoxons Konsequenzen für die Berücksichtigung evolutiver Prozesse bei landschaftsplanerischen Maßnahmen und den Artenschutz ableiten?

2. Hintergrundaussterben und Massenaussterben in der Erdgeschichte

Bei der Auslöschung von Arten unterscheiden die Paläontologen zwischen Hintergrundaussterben und Massenaussterben. Das Hintergrundaussterben erfolgt ständig und soll mit der Entstehung neuer Arten ungefähr im Gleichgewicht stehen. Davon zu unterscheiden sind Massenaussterben, in denen die Aussterberate innerhalb kurzer Zeiträume emporgeschnellt ist. Nach allgemeiner paläontologischer und evolutionsbiologischer Auffassung sind seit dem Beginn des Lebens im *Präkambrium* weit über 99 % aller Arten, die jemals auf der Erde existiert haben, bereits ausgestorben. Ein Großteil davon bei erdgeschichtlichen Massenaussterben, die bis zu 90 % der jeweils vorhandenen Arten vernichtet haben. Seit dem Entstehen reichhaltigen vielzelligen tierischen Lebens während der kambrischen Explosion hat es mindestens ein Dutzend größere und kleinere Massensterben gegeben. Die fünf verheerendsten Ereignisse werden als »Big Five« zusammengefasst. Sie haben den Untergang von jeweils mindesten 50 % der fossil bekannten Arten bewirkt und sind daher charakteristisch für die Übergänge zwischen den verschiedenen erdgeschichtlichen Perioden. Im einzelnen handelt es sich um Aussterbeereignisse am Ende des *Ordoviziums* vor ca. 440 Mio. Jahren, im späten *Devon* vor ca. 360 Millionen Jahren, am Ende des *Perm* vor ca. 250 Mio. Jahren, am Ende des *Trias* vor ca. 210 Mio. Jahren und am Ende der *Kreide* vor ca. 65 Mio. Jahren (vgl. **Abb. 1**). Das in der Abb. 1 ebenfalls dargestellte Verschwinden der pleistozänen Megafauna wird von den Paläontologen nicht zu den fünf größten Aussterbewellen gezählt. Die Bedeutung dieser Aussterbewelle hängt wohl mehr damit zusammen, dass bei diesem Massensterben erstmals der Mensch zugegen war und dass in letzter Zeit heftig darüber gestritten wird, ob der Mensch hier eine maßgebliche Rolle gespielt hat [vgl. hierzu Menting 2000].

Besonders bekannt und seit nunmehr weit über hundert Jahren Gegenstand des öffentlichen Interesses ist die verheerende Aussterbewelle am Übergang von der Kreide zum Tertiär. Neben den populären Dinosauriern wurden bei diesem Massensterben die Flugsaurier, die großen Meeresreptilien sowie sämtliche Ammoniten und riffbildenden Rudisten ausgelöscht. Auch die reichhaltige Vegetation der Kreidezeit wurde weitgehend verwüstet und bestand vorübergehend fast nur noch aus Farnen [vgl. Stanley 1994]. Rund 70 % aller Arten sind in kürzester Zeit verloschen, wobei kaum ein Landtier, das schwerer als 25 kg war das Ereignis überlebt hat [Pflug 1984]. Die Verursachung dieses spektakulären Megaereignisses, das auch in der westlichen Zivilisationskritik (»Dinosauriertechnik«, »small is beautifull« etc.) seine Spuren hinterlassen hat, wird heute einem gewaltigem Asteroideneinschlag angelastet [vgl. z. B. Lewis 1997]. Es ist aber keinesfalls das größte Massensterben der Erdgeschichte. Die gewaltigste Katastrophe in der Geschichte des irdischen Lebens hat sich vor ca. 250 Millionen Jahren am Ende des *Perm* ereignet. Diesem Massensterben fielen fast 90 % der damaligen Lebewesen zum Opfer [vgl. z. B. Kerr 1995]. Auch für diese bisher größte biologische Krise der Erdgeschichte liegen inzwischen

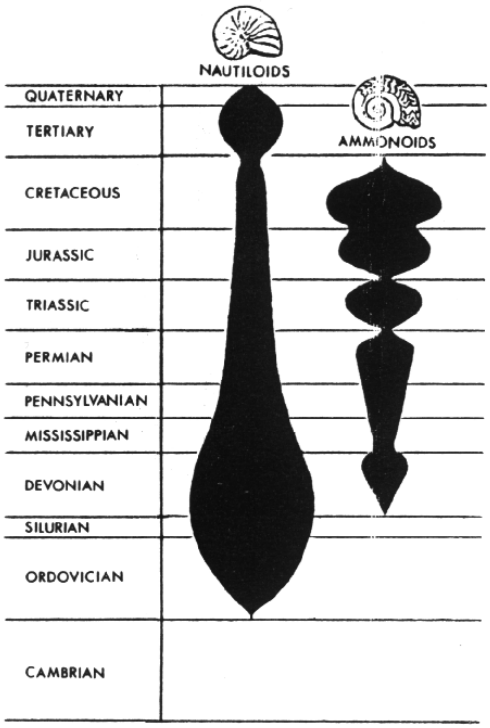


Abb.3 (links): Massenentfaltungen am Beispiel zweier unterschiedlich von Massensterben betroffener Molluskenfamilien. Die Nautiloiden profitieren offensichtlich von der vollständigen Auslöschung der konkurrierenden Ammoniten an der K/T-Grenze [aus: PELLEGRINO 1983].

Indizien dafür vor, das sie durch Aufprall eines riesigen Himmelskörpers verursacht wurde [BECKER 2002].

Bei den Opfern solcher Massensterben handelt es sich keinesfalls um stammesgeschichtlich gealterte Arten, die wie manchmal behauptet wird, kurz vor ihrem genetischen Tod standen und die dann durch außergewöhnliche Umweltveränderungen nur den Gnadenstoß bekommen hätten. Im Gegenteil, tatsächlich wurde viele Arten wie z. B. die Ammoniten oder die Dinosaurier in ihrer vollen Blüte ausgelöscht [vgl. ELDREDGE 1997]. Dies bedeutet: Unter normalen biologischen Umständen hätten die Opfer solcher Katastrophen noch lange weiterleben können, so dass sie noch heute unseren Planeten bevölkern könnten. Dass dies so ist, belegt ja auch die große Zahl der ›lebenden Fossilien‹ in unserer heutigen Flora und Fauna. Das gemeinsame Kennzeichen der Überlebenden solcher Faunenschnitte besteht daher nicht in einer besonderen genetischen oder biologischen Fitness, sondern darin, dass sie einfach Glück gehabt haben. Allerdings waren eine weite Verbreitung, eine geringe Körpergröße und Spezialisierung, eine hohe Kälteresistenz oder gar die Fähigkeit, sich in einen energiesparsamen Ruhezustand zu versetzen, diesem Glück in der Regel dienlich [vgl. VAAS 1995, GOULD 1991].

3. Massenentfaltungen nach Massenaussterben

Kennzeichnend für die Massenaussterben der geologischen Vergangenheit ist, dass ihnen Massenentfaltungen von Arten folgen. In **Abb. 2** wird dieses Phänomen am Beispiel der erdgeschichtlichen Entwicklung der Anzahl der Meeresorganismen dargestellt. **Abb. 3** verdeutlicht das gleiche Phänomen am Beispiel zweier Familien

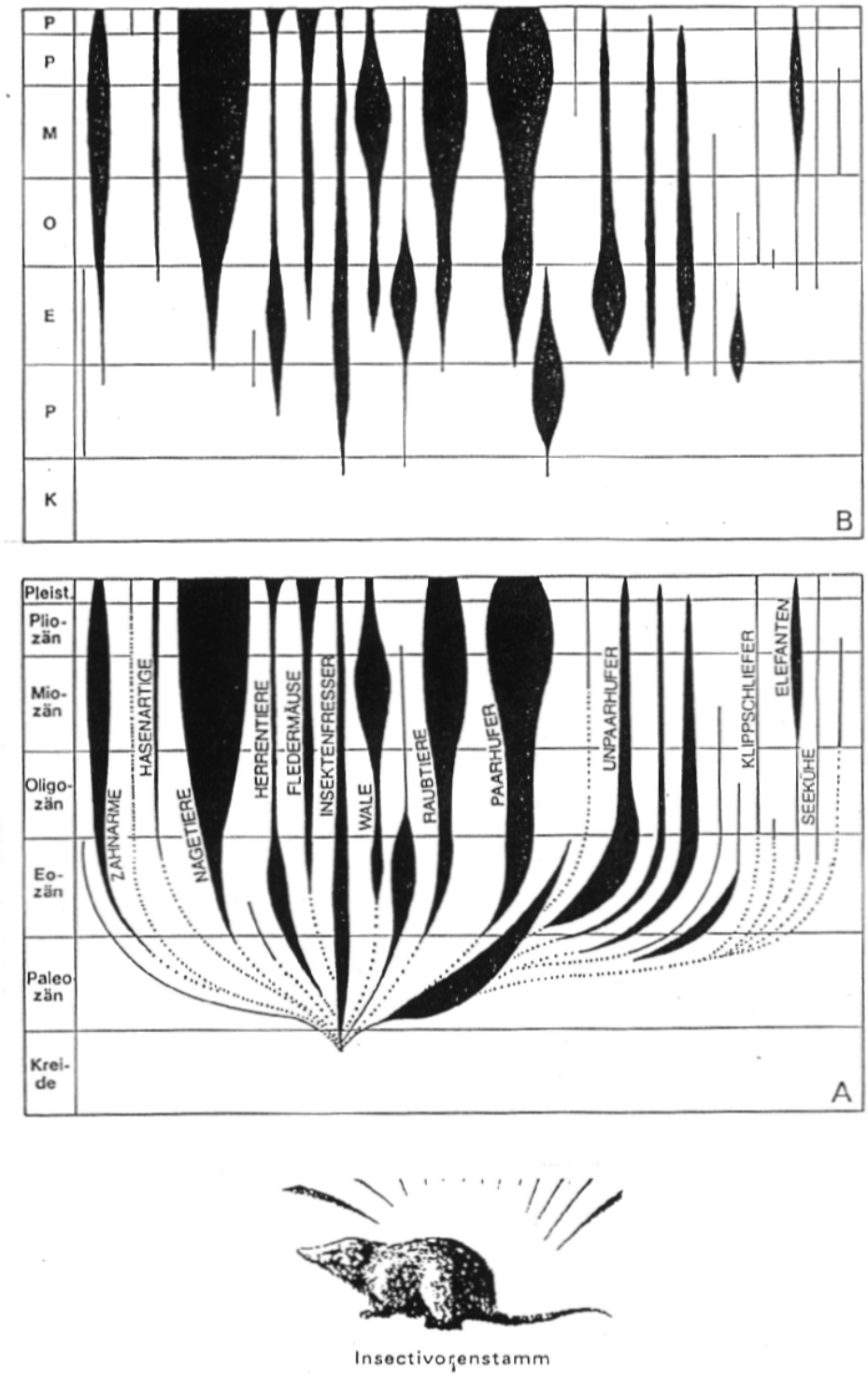


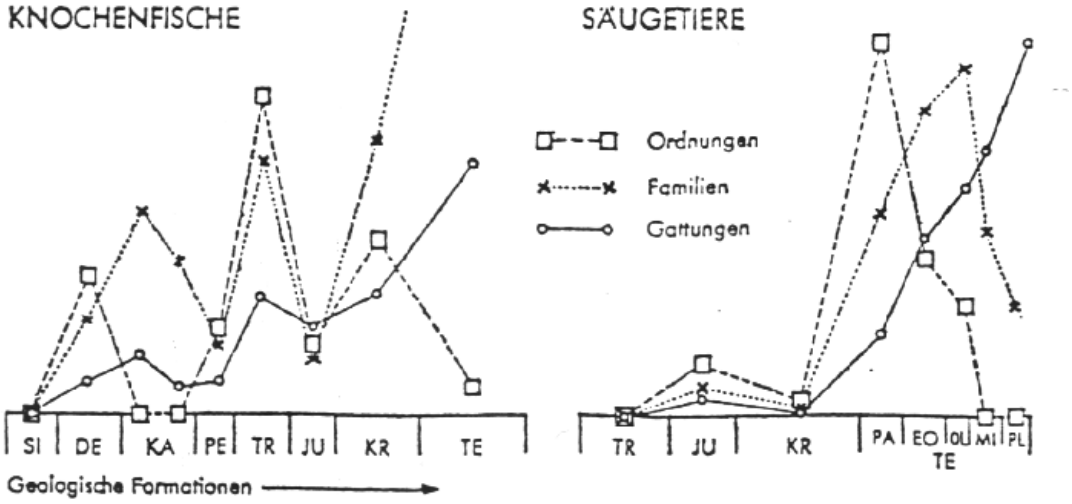
Abb. 4:Adaptive Radiation bzw. explosive Entfaltung der plazentalen Säugetiere zu Beginn des Tertiärs aus einem spitzmausähnlichen Insektivorenstamm. Die gepunktet dargestellten Linien in der oberen Darstellung symbolisieren fehlende Übergangsformen. Der paläontologische Befund ist daher eigentlich wie unten dargestellt richtig wiedergegeben [aus: JUNKER & SCHERER 1998, verändert].

von Kopffüßlermollusken, die um den gleichen Lebensraum konkurrieren, aber von erdgeschichtlichen Aussterbeereignissen unterschiedlich betroffen waren. Ein bekanntes Beispiel für eine Massenentfaltung, die auf ein Massensterben folgt, ist die in **Abb. 4** dargestellte explosive Entfaltung der Säugetiere im Tertiär nach der Auslöschung der kreidezeitlichen Dinosaurier. Solche Evolutionsschübe werden damit erklärt, dass durch verheerende Meteoriteneinschläge, intensive Vulkantätigkeiten und rasche Klimawechsel, die Bühne des Lebens mehrmals leergefegt wurde, so das überlebende Arten explosionsartig in die freigewordenen ökologischen Nischen eindringen oder durch den Erwerb konkurrenzkräftiger Schlüsselmerkmale auch neue ökologische Nischen erobern konnten [vgl. VAAS 1995, WARD 1998]. In der Evolutionsbiologie werden solche Phasen mit hoher Diversifikationsrate der Organismen als adaptive Radiationen bezeichnet, d. h. als anpassungsbedingte Auffächerungen von undifferenzierten Stammformen an sich verändernde Umweltbedingungen. Populationsgenetisch wird die stark erhöhte Evolutionsrate nach erdgeschichtlichen Umbrüchen damit erklärt, dass die Überlebenden solcher rapiden Umweltveränderungen in kleinen und durch geographische Barrieren getrennten Populationen existierten. In solchen reproduktiv isolierten Populationen konnten sich durch Mutationen, Gendrift und lokale Umweltanpassungen verursachte abweichende Genfrequenzen besser fixieren [ELDREDGE & GOULD 1972]. Eine ähnliche Beschleunigung des Evolutionsprozesses ist im übrigen – wie auch das Beispiel der Darwinfinken zeigt – nicht nur nach rapiden Umweltveränderungen, sondern auch bei der Neubesiedlung von Lebensräumen insbesondere Inseln zu beobachten.

In der erdgeschichtlichen Überlieferung gibt es eine Vielzahl von Befunden, die auf ausgeprägte adaptive Radiationen nach katastrophalen Änderungen der Umweltbedingungen hinweisen. Es gibt allerdings auch erdgeschichtliche Belege dafür, dass dieser Mechanismus nicht immer funktioniert hat. Dies scheint z. B. im Quartär der Fall zu sein, für das eine vergleichsweise geringe Evolutionsrate typisch ist. Von dem Quartärbotaniker LANG [1994] wird die evolutive Bedeutungslosigkeit des Quartärs wie folgt resümiert: »Nach dem Ausweis des paläontologischen Befundes bestand die Organismenwelt am Ende des Tertiärs aus Sippen, die bereits ganz überwiegend heutigen Gattungen, zum großen Teil sogar heutigen Arten zugeordnet werden können. Das trifft sowohl für die europäische Flora wie für die heutige Fauna zu«. Diese Bewertung erfährt auch durch die bekannten Beispiele für europäische Zwillings- oder Geschwisterarten, wie Grau- und Grünspecht, Wintergold- und Sommergoldhähnchen, Garten- und Waldbaumläufer oder Nachtigall und Sprosser Unterstützung. Diese Arten, die sich morphologisch oder farblich nur geringfügig unterscheiden, sind vermutlich während des Vordringens eiszeitlicher Gletscher durch die Aufspaltung von Ausgangspopulationen in eine südwestliche und südöstliche Teilpopulation entstanden (vgl. **Abb. 5**) und sprechen nicht gerade für gravierende evolutive Veränderungen während des Eiszeitalters [vgl. SENGLAUB 1982]. Dabei muss die geringe evolutive Kraft des Pleistozäns durchaus verwundern, weil gewaltige Klimaschwankungen und daran gekoppelte gravierende Arealveränderungen sowie Aussterbewellen an sich optimale Bedingungen für adaptive Radiationen in der Tier- und Pflanzenwelt geliefert haben.

Der überraschende pleistozäne Befund macht deutlich, dass der Evolutionsmechanismus, der den adaptiven Radiationen zugrunde liegt, noch keinesfalls hinreichend verstanden ist. Die niedrige quartäre Evolutionsrate passt aber zu Indizien, die darauf hindeuten, dass es sich bei der evolutiven Entwicklung nicht um einen unbegrenzten, sondern um einen zu Ende laufenden Prozess handelt [vgl. LÖNNIG

Abb. 5 (oben): Die Zwillingsarten Grauspecht (*Picus canus*) und Grünspecht (*Picus viridis*) sind vermutlich während des Vordringens eiszeitlicher Gletscher durch die Aufspaltung einer Ausgangspopulation in eine südwestliche und südöstliche Teilpopulation entstanden [aus: JUNKER & SCHERER 1998]. **Abb. 6** (unten):Zeitliche Maxima der Hervorbringung neuer Ordnungen, Familien und Gattungen in der Erdgeschichte: Die Höhepunkte in der Produktion neuer Ordnungen gehen im allgemeinen sehr deutlich denen der Familien und diese wiederum denen der Gattungen voraus. Vor dem Hintergrund darwinistischer Evolutionsvorstellungen wäre ein umgekehrtes Bild zu erwarten gewesen [nach SIMPSON 1965, aus: LÖNNIG 1998].



1998]: Der fossile Befund zeigt nämlich, dass die mannigfaltigsten Baupläne bereits zu Beginn der evolutiven Entwicklung, d. h. bei der kambrischen Explosion vor ca. 530 Millionen Jahren aufgetreten sind. Seither sind keine neuen Tierstämme entstanden aber einige ausgestorben. In ähnlicher Weise treten seit dem frühen Mesozoikum vor etwa zweihundert Millionen Jahren keine neuen Klassen mehr innerhalb dieser Tierstämme auf. Und die Bildung neuer Ordnungen hörte zu Beginn der Känozoikums vor ca. 65 Millionen Jahren auf. Ein ähnlicher Trend gilt auch für die Entstehung neuer Familien. Nur bei der Anzahl der Arten und Gattungen ist eine stetige Zunahme zu beobachten, die sich aber auf immer weniger Stämme, Klassen und Ordnungen konzentriert (vgl. **Abb. 6**). Der Paläontologe STEPHEN JAY GOULD [1991] spricht in diesem Zusammenhang von der charakteristischen »Schwanzlastigkeit der Kladen«, womit gemeint ist, dass die maximale anfängliche Vielfalt der Baupläne, ein allgemeines Merkmal der Abstammungslinien ist.

Die in der fossilen Überlieferung zu beobachtende Verschiebung von wenigen Arten in vielen Gruppen zu vielen Arten in wenigen Gruppen steht somit im erheblichen Widerspruch zu den neodarwinistischen Vorstellungen [vgl. hierzu z. B. GLAUBRECHT 1995] von der allmählichen, sich in winzigen Schritten vollziehenden, praktisch unbegrenzten Entwicklung der Formenvielfalt. Tatsächlich sind die großen Unterschiede bei den biologischen Bauplänen bereits im Erdaltertum oder im Erdmittelalter aufgetreten. Überdies haben sich diese Grundbaupläne nicht allmählich zur heutigen Artenvielfalt entfaltet, sondern – soweit sie nicht erloschen sind – in explosiven Radiationen nach gravierenden Umweltveränderungen. Diese Befunde widersprechen zwar neodarwinistischen Evolutionsvorstellungen; trotzdem müssen sie nicht, wie z. B. von LÖNNIG [1998] oder JUNKER & SCHERER [1998] als ultimativer Beleg für schöpfungsgeschichtlich orientierte Artentstehungsmodelle interpretiert werden. Die in der neueren evolutionsbiologischen Forschungsliteratur favorisierten (postdarwinistischen) Evolutionsmodelle gehen davon aus, dass zu Beginn der evolutiven Aufspaltungsprozesse eine unterschiedliche Anzahl von Gen- und Genomverdopplungen standen, die den Bauplantyp und die evolutionäre Strategie einer Organismengruppe festgelegt haben. Für das Ausmaß der daran anschließenden Variation der Organismengruppen werden dann sekundäre Genverluste in regulatorischen Genclustern verantwortlich gemacht [vgl. hierzu MEYER & VAN DE PEER 2003, MALAGA-TRILLO & MEYER 2001]. Diese Theorie stützt sich auf die abweichende Bauplanvielfalt von Fischen und Säugetieren sowie ausgeprägten molekulargenetischen Unterschieden bei den Genomen dieser beiden Organismengruppen. Experimentell konnte sie allerdings bisher nicht einmal ansatzweise bestätigt werden. Verschiedentlich wird dies damit erklärt, dass die Genome ›früher‹, d. h. vor den Genomverdopplungen bzw. zu Beginn der grundlegenden Aufspaltungsprozesse weniger komplex und daher flexibler waren [vgl. z. B. GOULD 1991].

Als vorläufiges Resümee bleibt festzuhalten, dass die auf den ersten Blick verwirrende Äußerung des Paläontologen ELDREDGE, dass Aussterben beinahe eine schöpferische Rolle in der Geschichte des Lebens spielt, gut mit der fossilen Überlieferung übereinstimmt und besser mit katastrophischen als mit graduellen Evolutionsvorstellungen zu erklären ist. Weniger gut passt ELDREDGE Äußerung allerdings für die jüngere paläontologische Vergangenheit, weshalb m. E. auch wenig Anlass besteht, rezentes Artensterben oder todbringende Naturkatastrophen als schöpferischen Prozess zu idealisieren [so z. B. von RASPER 1999].

4. Landschaftsplanung und evolutive Prozesse

In der einleitenden Fußnote zu diesem Beitrag wurde erläutert, weshalb das kuriose Thema dieses Symposiums »Landschaftsplanung contra Evolution« besser vor einem propagandistischen als einem inhaltlichen Hintergrund verstanden werden kann. Lässt man dies einmal außer acht und versucht, das Thema ernst zunehmen, ist die Frage zu diskutieren, ob und wenn inwieweit durch landschaftsplanerische Maßnahmen evolutive Prozesse beeinflusst werden. Um diese Frage beantworten zu können, sollte man sich zunächst die Ursachen für die vielen Massenaussterben und Massenentfaltungen der geologischen Vergangenheit vor Augen führen. Der renommierte Lehrbuchautor STANLEY [1989] unterscheidet als Auslöser für Massensterben »alltägliche Ursachen«, die in Krisenzeiten bloß verstärkt auftreten und eher »exotische« Ursachen, die nur bei Massenuntergängen auftreten. Zu den eher gewöhnlichen, »irdischen« Ursachen von Massensterben zählen u. a. weltweite Klima- und Meeresspiegelveränderungen, ausgedehnte Lageverschiebungen von Land und Meer, veränderte Sauerstoffkonzentrationen in der Atmosphäre sowie Schwankungen der Salzkonzentrationen und die Ausbreitung von Trübströmen im Meer. Zu den eher exotischen Ursachen gehören gewaltige vulkanische Ausbrüche von giftigen Gasen oder von Aschewolken, Strahlung infolge einer Supernovaexplosion, Zunahme der kosmischen Strahlung durch Abschwächung des Erdmagnetfeldes und wie bei dem endkreidezeitlichen Massensterben der Einschlag eines Kometen oder Asteroiden auf der Erde.

Die Dimension der vorgenannten Umweltveränderungen und die Tatsache, dass Landschaftsplanung ja gerade versucht, solche gravierenden Eingriffe in den Naturhaushalt zu verhindern, abzumildern oder auszugleichen, legen den Schluss nahe, dass landschaftsplanerische Maßnahmen, wohl kaum geeignet sind, die ökologischen Voraussetzungen für Massenentfaltungen von Arten zu schaffen. Mit diesem Analogieschluss ist die Frage nach der evolutiven Relevanz von landschaftsplanerischen Maßnahmen aber noch nicht vollständig vom Tisch. Bei den Massenentfaltungen der paläontologischen Vergangenheit handelt es sich nämlich um einen evolutiven Spezialfall, der dadurch charakterisiert ist, dass in relativ kurzer Zeit gravierende, makroevolutive Veränderungen bei Lebewesen auftreten. Unter makroevolutiven Veränderungen versteht man die Entwicklung bisher nicht vorhandener Organe, Strukturen und Bauplantypen und damit verbunden die Entwicklung von *qualitativ* neuwertigem genetischen Material. Beispiele für makroevolutive Entwicklungen sind sowohl die stammesgeschichtliche Entwicklung von Säugetieren aus Reptilien als auch die Entstehung der verschiedenen Säugetierordnungen aus einem spitzmausähnlichen Insektivorenstamm. Von der Makroevolution zu unterscheiden sind mikroevolutive Prozesse. Darunter versteht man *quantitative* Veränderungen bereits vorhandener Strukturen. Beispiele für mikroevolutive Prozesse sind Resistenzerscheinungen bei Bakterien oder die berühmte adaptive Radiation der Darwinfinken auf den Galápagos-Inseln. Solche mikroevolutiven Prozesse sind häufig zu beobachten, wenn eine Ausgangspopulation in räumlich isolierte Teilpopulationen aufgespalten wird. Anschauliche Beispiele dafür, sind die bereits erwähnte Entstehung von Zwillingsarten im Pleistozän oder die Verdriftung von Teilen einer kontinentalen Population auf Inseln.

Da ein wesentliches Ziel der Landschaftsplanung bekanntlich darin besteht, durch Biotopverbundsysteme die Isolation von Lebensräumen aufzuheben, sind auch Einflüsse auf mikroevolutive Prozesse zu erwarten. Es wird hier nicht bezweifelt, dass es gute Gründe für die Vernetzung von Biotopen gibt, aber evolutionsökologisch be-

trachtet, wird dadurch der Genfluss zwischen zwei möglicherweise nicht nur räumlich sondern auch genetisch isolierten Populationen wiederhergestellt und somit ein sich im Gang befindlicher mikroevolutiver Prozess abgebrochen. MÜLLER [1997] vertritt daher die Auffassung, dass Isolation und Separation keineswegs nur Extinktionsfallen darstellen, sondern für manche Populationen neue Differenzierungschancen bieten. Die bisher wenig diskutierten negativen evolutionsökologischen Nebeneffekte von Biotopverbundsystemen sind aber nicht als besonders gravierend einzuschätzen, weil von der Vernetzung von Lebensräumen in der Regel nicht alle Organismengruppen profitieren, so dass häufig Maßnahmen, die bestimmte Arten vernetzen andere Arten isolieren [vgl. hierzu z.B. GEISSLER-STROBEL et al. 2000]. Überhaupt wird durch die Einbeziehung genetischer oder evolutionsökologischer Aspekte die Begründung landschaftsplanerischer Maßnahmen nicht einfacher. Der renommierte Evolutionsbiologe COCKBURN [1995] macht dies am Problem der Habitatfragmentierung deutlich:

Aus ökologischer Sicht wird die Fragmentierung von Habitaten im Allgemeinen als negativ angesehen, weil die Diversität in zusammenhängenden Flächen größer sein soll und weil Arten ein bestimmtes Minimumareal benötigen, um zu überleben. Es gibt allerdings auch Argumente, die gegen die Vorstellung sprechen, das ein einziges großes Reservat günstiger als mehrere kleine ist. So bieten z. B. mehrere isolierte Areale einen besseren Schutz gegen Seuchen oder neu auftretende Räuber. Erstaunlicherweise ist der Beitrag der Genetik zu dieser Debatte wenig hilfreich, weil zu den genannten Problemen zwei neue widersprüchliche Ziele hinzukommen: Aus genetischer Sicht ist es erstrebenswert, die genetische Diversität aufrechterhalten, d. h. so viele Allele (also Varianten von Genen) wie möglich zu schützen und Inzuchtdepression zu vermeiden. Inzuchtdepression vermeidet man, in dem die Zahl der Individuen, die sich potentiell kreuzen können, möglichst groß hält, also durch große Reservate oder durch Biotopvernetzung. Demgegenüber kann die genetische Diversität besser in zerteilten Populationen aufrechterhalten werden, weil seltene Allele, besser in kleinen, isolierten Subpopulationen erhalten bleiben, vorausgesetzt, es findet zumindest gelegentlich ein Genaustausch zwischen den Subpopulationen statt. Außerdem können durch die Anpassung an lokale Umweltbedingungen, in kleinen, isolierten Teilpopulationen genetisch abweichende Varianten einer Ausgangspopulationen entstehen. Solche lokalen Varianten würden in großen Reservaten oder bei Biotopvernetzung durch Genfluss schnell wieder eingeebnet. Festzuhalten bleibt, dass es in der Evolutionsökologie offensichtlich nicht anders ist, als z. B. bei den naturschützerischen Zielvorgaben Eigenart, Vielfalt und Schönheit, die sich zwar meistens widersprechen, aber von denen jeder so tut, als seien sie positiv korreliert.

5. Ausblick

Abschließend möchte ich mich noch einige Beispiele anführen, die ein kritisches Licht auf eine allzu dominante Berücksichtigung artenschutzgenetischer oder evolutionsökologischer Erkenntnisse in Naturschutz und Landschaftsplanung werfen:

Das erste Beispiel ist der amerikanische *Rotwolf*, der lange Zeit für eine Stammform des Wolfes und des Kojoten gehalten wurde und dem intensive Artenschutzbemühungen zu Teil wurden, nachdem sein Bestand durch Lebensraumzerstörung Jagd und Bastardierung auf wenige in Gefangenschaft gehaltene, reinrassige Exem-

plare geschrumpft war [vgl. LEWIN 1998]. Diese Zuchtpopulation diente später als Grundstock zur Etablierung ein neuen wildlebenden Population in einem Schutzgebiet. Parallel durchgeführte genetische Untersuchungen ergaben jedoch Zweifel an dem Artstatus der ausgewilderten Rotwölfe. Die Zweifel an der genetischen Identität der Rotwölfe verstärkten sich als man alte Rotwolffelle untersuchte, die aus einer Zeit stammten, zu der es noch keine Bastardierung in freier Wildbahn gegeben haben soll. Die genetischen Untersuchungen kamen auch hier zu Ergebnis, dass es sich bei den Tieren um Bastarde handelte. Als Konsequenz dieser Untersuchungen musste die Hypothese verworfen werden, dass der Rotwolf ein Vorfahre von Wolf und Kojote ist; stattdessen wurde er nun als ein Bastard eingestuft, der niemals eine eigene Spezies gebildet hat und deswegen auch keines Schutzes würdig ist. Hier muss sich der Naturschutz die Frage stellen, ob zukünftig allein aufgrund von molekulargenetischen Befunden über die Schutzwürdigkeit von Populationen entschieden werden soll.

Das zweite Beispiel ist der *Mauritius-Falke*, der noch vor wenigen Jahrzehnten den Titel des seltensten Vogel der Welt inne hatte [vgl. QUAMMEN 1998]: Am Tiefpunkt seines Niedergangs Mitte der siebziger Jahre des letzten Jahrhunderts existierten von diesem Vogel noch etwa ein halbes Dutzend Exemplare. Bei Anwendung des evolutionsökologischem Kriteriums der 50/500 -Regel war dieser Vogel praktisch schon rettungslos verloren und keines Artenschutzprogramms mehr würdig. (Die umstrittene 50/500 Regel besagt, dass eine Population mindestens aus 50 Individuen bestehen muss um Inzuchtdepression zu vermeiden bzw. aus 500 Individuen um die negativen Auswirkungen von Gendrift abzuschwächen, vgl. COCKBURN 1995). Tatsächlich ist es aber durch intensivste Artenschutzbemühungen eines engagierten Ornithologen gelungen, die Population wieder auf über 200 Falken zu Beginn der neunziger Jahre ansteigen zu lassen. Dies zeigt, dass es offensichtlich möglich ist, auch genetisch hoffnungslose Fälle zu retten, und dass Artenschutz weniger ein Frage der Gene als des Geldes und des persönlichen Einsatzes ist.

Das dritte Beispiel ist der *Gepard*, der dafür bekannt ist, dass er über eine außerordentlich geringe genetische Diversität verfügt [vgl. LEWIN 1998]: Dies soll sich u. a. in einer hohen Säuglingssterblichkeit und hohen Anfälligkeit gegenüber Infektionen zeigen. Die geringe genetische Variation ist vermutlich dadurch entstanden, dass der Gepard in der Vergangenheit, mehrere demographische Engpässe (»Flaschenhälse«) durchlaufen hat, d. h. Phasen, in der die Gepardenpopulation außerordentlich stark geschrumpft ist. Trotzdem scheint der naheliegende Schluss falsch zu sein, dass der in Afrika zu beobachtende Rückgang der Gepardenpopulation auf genetische Defekte beruht. Untersuchungen in der Serengeti haben nämlich gezeigt, dass die hohe Jungensterblichkeit vor allem auf das Konto von Löwen und Hyänen geht. Tatsächlich ist dort, wo diese Räuber stark verfolgt werden, ein rapides Wachstum der Gepardenpopulation zu beobachten.

Als Resümee ist festzuhalten, dass die artenschutzgenetischen und evolutionsökologischen Erkenntnisse in einem rasanten Tempo zunehmen und sicherlich ein zusätzlicher Aspekt sind, der bei den Zielsetzungen von Naturschutz und Landschaftsplanung berücksichtigt werden sollte. Die Artenschutzgenetik kommt bei der Beurteilung des Artstatus von Populationen oft zu einem anderen Ergebnis als traditionelle Bewertungen der Schutzwürdigkeit von Populationen. Folgt der Naturschutz ausschließlich den molekulargenetischen Befunden kann dies zu einem »molekularen Chauvinismus« [AVICE 1989] führen. Zudem sollte die praktische Bedeutung genetischer Faktoren – wie die Beispiele *Gepard* und *Mauritius-Falke* zeigen – keinesfalls

überschätzt werden. Erheblich bedeutender als evolutionsökologische Erkenntnisse sind für den praktischen Artenschutz offensichtlich immer noch ökologische und organisatorische Faktoren, wie die Erhaltung von Lebensräumen und das praktische Artenschutzmanagement. Artenschutzgenetische und evolutionsökologische Erkenntnisse sind auch nicht dazu geeignet, die vielen Konflikte und Widersprüche zu lösen, die sich aus dem traditionellen Ziel von Naturschutz und Landschaftsplanung ergeben, die Artenvielfalt in einem Gebiet zu erhalten. Im Gegenteil, die neuen Erkenntnisse verschärfen die Problemlage noch. Naturschutz und Landschaftsplanung sollten dies zum Anlass nehmen, ihre Kraft dafür zu nutzen, ihre alten Theorien endlich ernsthaft zu reflektieren, statt Wunder von evolutionsgenetischer Seite zu erwarten.

Zusammenfassung

Nach allgemeiner paläontologischer Auffassung sind weit über 99 Prozent aller Arten, die jemals gelebt haben, bereits ausgestorben. Ein Großteil davon innerhalb kurzer Zeiträume bei katastrophalen erdgeschichtlichen Massensterben, die bis zu 90 % der jeweils vorhandenen Arten vernichtet haben. Ein typisches Kennzeichen von Massensterben besteht darin, dass ihnen Massenentfaltungen von Tier- und Pflanzengruppen folgen. Das bekannteste Beispiel dafür ist die adaptive Radiation der Säugetiere nach dem endkreidezeitlichen Aussterben der Dinosaurier. Der Paläontologe Niles Eldredge hat diesen Zusammenhang wie folgt umschrieben: »Evolution hängt so sehr vom Aussterben ab, dass es beinahe eine schöpferische Rolle in der Geschichte des Lebens spielt«. Wenn aber Massensterben und Massenentfaltungen von Arten zwei Kehrseiten der selben Medaille sind, dann passt diese evolutive Botschaft nicht so recht zu dem Bestreben von Naturschutz und Landschaftsplanung, die vorhandene Artenvielfalt zu bewahren, ökologische Gleichgewichte zu erhalten und starke Eingriffe auszugleichen. Vor diesem Hintergrund werden in diesem Beitrag die evolutiven Prozesse, die für die Entstehung der Artenvielfalt verantwortlich sind, diskutiert und Widersprüche zu den Zielen von Naturschutz und Landschaftsplanung aufgezeigt. Abschließend wird die Problematik behandelt, ob die Einbindung genetischer oder evolutionsökologischer Erkenntnisse eine Hilfe bei der Lösung von Problemen des Artenschutzes ist.

Abstract

Ecological catastrophes or ecological balance: Which ecological processes are responsible for the origin and preservation of the diversity of species?

According to general paleontological opinion more than 99 percent of all species which have ever existed are already extinct. A majority were extinct within short periods of time during catastrophic geological wide-spread dying-off when up to 90 percent of each existing species were wiped out. A typical characteristic of wide-spread dying-off is the subsequent mass development of animal and plant groups. The most well-known example of this fact is the adaptive radiation of mammals after the extinction of the dinosaurs towards the end of the Cretaceous period. The paleontologist Niles Eldredge describes their connection: »Evolution is strongly dependent on extinction so that it plays almost a creative role in the history of life«. But if widespread dying-off and mass development of species are two sides of the same coin,

than, this evolutionary message does not properly fit the effort of nature conservation and landscape planning to preserve the existing variety of species. Nor does it fit their endeavor to preserve ecological equilibrium and to balance strong interventions. Following, the evolutionary processes will be discussed which are responsible for the development of the variety of species. At the same time, possible contradictions to the goals of nature preservation and landscape planning will be shown. Next, the question will be asked if the inclusion of genetic or evolutionary- ecological knowledge is helpful in solving problems of species protection.

Literatur

AVICE, J.C.(1989) : A Role for Molecular Genetics in the Recognition and Conservation of Endangered Species. – In: Trends in Ecology and Evolution 4, 279-281

BECKER, L. (2002): Tödliche Treffer in Serie. – In: Spektrum der Wissenschaft (7) 60-67

COCKBURN, A. (1995): Evolutionsökologie. – Stuttgart

ELDREDGE, N. (1997, zuerst 1991): Wendezeiten des Lebens. Katastrophen in Erdgeschichte und Evolution. – Frankfurt/M.

ELDREDGE, N. & GOULD, S.J. (1972): Punctuated equilibria : an alternative to phyletic gradualism. – In: SCHOPF, T.J.M. (Hg.): Models in paleobiology. – San Francisco, 82-115

GEISSLER-STROBEL, S., KAULE, G. & SETTELE, J. (2000): Gefährdet Biotopverbund Tierarten? Langzeitstudie zu einer Metapopulation des Dunklen Wiesenknopf-Ameisenbläulings und Diskussion genereller Aspekte. – In: Naturschutz und Landschaftsplanung 32 (10) 293-299

GLAUBRECHT, M. (1995): Der lange Atem der Schöpfung. Was Darwin gern gewusst hätte. – Hamburg

GOULD, ST.J. (1991): Zufall Mensch – Das Wunder des Lebens als Spiel der Natur. – München & Wien

JUNKER, R. & SCHERER, S. (1998): Evolution – Ein kritisches Lehrbuch. – Gießen

KERR, R. A. (1995): Geoscientists Contemplate a Fatal Belch and a Living Ocean. – In: Science 270, 1441-1442

LANG, G. (1994): Quartäre Vegetationsgeschichte Europas. Methoden und Ergebnisse. – Stuttgart

LEWIN, R. (1998): Die molekulare Uhr der Evolution. Gene und Stammbäume. – Heidelberg

LEWIS S., JOHN (1997): Bomben aus dem All. Die kosmische Bedrohung. – Basel

LÖNNIG, W.E. (1998): Zehn Paradebeispiele gegen Zufallsevolution. – Köln

MALAGA-TRILLO, E. & MEYER, A. (2001): Genome Duplications and Accelerated Evolution of *Hox* Genes and Cluster Architecture in Teleost Fishes. – In: Amer. Zool 41, 676-686

MENTING, G. (1988): Der Landschaftsplan nach dem Landschaftsgesetz NW – wirksamer Natur- und Landschaftsschutz oder ineffektives Planungsinstrument? – In: Landschaft + Stadt 20 (3) 114-121

– (2000): Überlegungen zum Aussterben der pleistozänen Megafauna. – In: Natur und Museum 130 (7) 201-212

MENTING, G. & HARD, G. (2001): Lernen vom Dodo – Öko-Mythen um einen Symbolvogel des Naturschutzes. – In: Naturschutz und Landschaftsplanung 33 (1) 27-34

MEYER, A. & VAN DE PEER, Y. (2003) : ›Natural selection merely modified while redundancy created‹ - Susumu Ohno's idea of evolutionary importance of gene and genome duplications.– In: Journal of Structural and Functional Genomics 3, vii-ix

MÜLLER, P. (1997): Allgemeines Artensterben – Ein Konstrukt? – In: Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung 36, 223-252

PELLEGRINO, C.R. (1983): Darwin's Universe. – New York

PRIMACK, R.B. (1995): Naturschutzbiologie. – Heidelberg

PFLUG, H.D. (1984): Die Spur des Lebens: Paläontologie chemisch betrachtet. – Berlin

QUAMMEN, D. (1998): Der Gesang des Dodo. – München

RASPER, M. (1999): »Sinnvolle Katastrophen«. – In: natur & kosmos (3) 9-11

SENGLAUB, K. (1982): Sie sind veränderlich. Eine Einführung in die Fortpflanzungs- und Evolutionsbiologie der Tiere. – Köln

STANLEY, S.M. (1989): Krisen der Evolution – Artensterben in der Erdgeschichte. – Heidelberg

VAAS, R. (1995): Der Tod kam aus dem All – Meteoriteneinschläge, Erdbahnkreuzer und der Untergang der Dinosaurier. – Stuttgart

WARD, P.D. (1998): Ausgerottet oder ausgestorben? – Warum die Mammuts die Eiszeit nicht überleben konnten. – Basel, Boston & Berlin

Aktualisierte Fassung, Dezember 2005