

2-22 The Art of Charles Darwin: Unermessliche Zeit und unvollständige Fossilüberlieferung

Annahmen und Argumente Darwins aus heutiger Perspektive

„As this whole volume is one long argument (...)“¹

Der Naturforscher und Geologe Charles DARWIN (1809-1882) lieferte für seine Theorie der „Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl“^{2,3} die K.o.-Kriterien gleich mit: Die Notwendigkeit unermesslich langer Zeiträume und die Notwendigkeit der Lückenhaftigkeit der Fossilüberlieferung. Sie scheinen weitaus stärker zu wiegen als der postulierte Modus Operandi der „natürlichen Zuchtwahl“ (natürlichen Selektion) selbst. Seine Beobachtungen der „Veränderlichkeit“ durch Domestizierung hatte DARWIN einfach in die Vergangenheit extrapoliert bis er über eine weitere der Extrapolation innewohnenden Analogie zu seinem Startpunkt gelangte: „(...) so that all organisms start from a common origin“ (DARWIN 1872, 642).

DARWINs Abstammungs- und Entwicklungstheorie gründet demnach auf drei fundamentalen Annahmen:

1. Der „Modifikationsprozess“ („laws of variation“), abgeleitet von den Züchtungsergebnissen, wirkte (auch) fortwährend in der Vergangenheit. Er wirkte dergestalt, dass sich eine Entwicklung von einem (einfachen) Prototyp zur Vielfalt der Organismenwelt inklusive des Menschen vollzog.

2. Die verflossene Zeit war von großer, schier unermesslicher Dauer („the great lapse of time“). Die Vergangenheit war lange genug, dass alle [notwendigen] Veränderungen und Entwicklungen haben stattfinden können.

3. Die geologische Überlieferung, insbesondere die Fossilüberlieferung, ist extrem unvollständig („extreme imperfection of the geological

record“). Zwischenglieder („intermediate links“, „transitional links“, „transitional forms“), die den „Modifikationsprozess“ Schritt für Schritt mit der Zeit dokumentiert hätten, sind geologisch nicht überliefert.

Im Rahmen dieses Beitrags werden primär die geologisch basierten Annahmen 2 und 3 diskutiert.

Unermessliche Dauer der verflossenen Zeit

Der Zeit – in ihrer unermesslichen Dauer – kommt in der DARWIN’schen Theorie nicht nur eine bedeutende Rolle zu, sondern sie ist eine fundamentale Voraussetzung. Eine kurze Zeitskala würde seiner Theorie vollkommen die Grundlage entziehen; dies erschließt sich u. a. aus folgender Aussage: „Die Vorstellung, dass Arten unveränderliche Erzeugnisse waren, war geradezu unvermeidlich, solange die Geschichte der Welt als kurz anzusehen war (...)“⁴ Mit Ausgang des 18. Jahrhunderts aber hatten sich von einer kurzen Zeitskala befreiende Vorstellungen etabliert, hin zu einer quasi zeitlosen [langen] Skala: Die „Unermesslichkeit der vergangenen Zeit“ (HUTTON 1788, → 2-20). Diese Vorstellungen sind insbesondere von Charles LYELL methodisch untermauert worden (→ 2-21); von ihm und seinen *Principles of Geology* (1830-33) scheint DARWIN maßgeblich beeinflusst worden zu sein.

Die Zeitfrage hat an Stellenwert nicht verloren, im Gegenteil: Für GOULD⁵ (1990) ist die unermessliche Zeit, die er auch als *Tiefenzeit* bezeichnet, das Bedeutendste für den Geologen überhaupt.⁶ LETTRA (2010) beschreibt in seiner Einführung zu *Time Matters* die Bedeutung des

¹ DARWIN (1872, 612).

² Auch mit „Züchtung“ übersetzt, siehe DARWIN (1860); dem Original folgend eigentlich mit „Selektion“ zu übersetzen, DARWIN (1859).

³ Kurzform von DARWINs Werk: *Origin of Species*, 1859 ff.

⁴ „The belief that species were immutable productions was almost unavoidable as long as the history of the world was thought to be of short duration (...)“ (DARWIN 1872, 638).

⁵ Stephen Jay GOULD (1941-2002), einflussreicher Paläontologe und Evolutionsbiologe.

⁶ „Zu dieser Vaterschaft ist Hutton gekommen, weil eine englische Tradition in ihm den ursprünglichen Entdecker der Tiefenzeit sehen wollte – und die Geologen wissen alle ganz genau, dass es in unserer Disziplin nichts gibt, was eine ähnliche Bedeutung hätte“ (GOULD 1992, 98-99).

Faktors Zeit so: In einer gedehnten Zeitskala ist nichts mehr außergewöhnlich. Anders ausgedrückt: Nicht nur wird alles möglich, alles scheint ganz gewöhnlich. So ist das eigentliche „Schlachtfeld“ unterschiedlicher Vorstellungen über die Erdgeschichte nicht das Stoffliche, die Abfolge der Gesteine und deren Fossilinhalt, sondern die Zeit.⁷

Was sind nun DARWINS (1872, 408-414) konkreten Argumente für eine schier unermessliche vergangene Zeit? In diesem Zusammenhang schreibt er von Fakten, „Fakten“, die den Verstand leiten, die „lapse of time“ annähernd zu begreifen.⁸

- a) Zunächst ein Verweis auf LYELLS großartiges Werk der *Principles of Geology*. Rhetorisch leitet DARWIN ein, dass jeder, der dieses Werk gelesen habe und nicht eingestehe, wie unerlässlich die vergangenen Zeitperioden gewesen waren, sofort dieses sein Buch schließen möge.⁹
- b) Ein weiterer Verweis auf LYELL, auf zu beobachtende wirkende Agenzien der Abtragung. Aktuell zu beobachtende, geringe Abtragungs- und Sedimentationsraten werden einfach in die Vergangenheit extrapoliert: „When thus impressed with the slow rate at which the land is worn away through subaerial and littoral action (...)“
- c) Errechnete (uniforme) Abtragszeit von 1.000 Fuß festen Gesteins in 6 Millionen Jahren (gemäß Mr. Croll); vgl. Punkt b.
- d) Aufaddierte Maximaldicken der Schichtgesteine seit dem Kambrium von 73.000 Fuß in Großbritannien (gemäß Prof. Ramsay). Diese sind insgesamt signifikant zu erhöhen, da einzelne Schichtglieder auf dem europäischen Kontinent um das Tausendfache mächtiger ausgebildet seien.

- e) Zwischen jeweils aufeinanderfolgenden Formationen¹⁰ leere (Zeit-) Perioden unermesslicher Dauer.
- f) DARWINS (1859, 1860) eigene Abschätzung der Entstehung des Weald-Tals in England. Er errechnet eine Abtragungsdauer von etwa 300 Millionen Jahre (in der 1. und 2. Auflage seines Werkes).

DARWIN (1872, 438-9) geht weiter der Frage der Kritiker nach, ob eine bewohnbare (habitable) Erde für all diese Veränderungen lange genug existiert habe. Er schlägt alle bisher unternommenen Schätzungen für die Bildung der Schichtgesteine aus: 60 Millionen Jahre seit dem Kambrium – zu kurz, verglichen mit der geringen organischen Veränderung seit Beginn der Glazial-Epoche. 140 Millionen Jahre für das Präkambrium – kaum ausreichend, um die Organismen hervorgebracht haben zu können, die im Kambrium bereits existierten. Selbst die von Sir W. THOMPSON maximal errechneten 400 Millionen Jahre seit Formung der Kruste¹¹ erscheinen DARWIN zu kurz. In seiner *Recapitulation* erachtet er diese Einwände (bis dato auf Zehner oder Hunderte Millionen Jahre limitierte Schätzungen) in der Tat erneut als schwerwiegend und entgegnet mit Nicht-Wissen: Weder sei die Artveränderungsrate bekannt (gemessen in Jahren) noch die Konstitution des Universums, um sichere Aussagen über die Dauer der Vergangenheit der Erde unternehmen zu können. Insgesamt scheint es, dass es DARWIN (1872) nicht (mehr) auf konkrete Zahlen als solche ankommt, sondern vielmehr darum, dem Leser eine Vorstellung von der Größenordnung der Zeit zu vermitteln: „Few of us, however, know what a million really means“ (S. 413). Ergänzend argumentiert DARWIN immer wieder mit der geologischen Faktenlage.¹²

⁷ „The amount of time for something to occur usually increases the possibility of it happening or the frequency at which it can take place. If time scales are short, changes and variations become more important; but as time scales increase, it is possible for the unusual to become, if not the norm, at least unexceptional. This is why time has been an almost constant battleground for centuries and why, even now, it plays an important part in how different groups of people think about Earth Science“ (LETTRA 2010, 1).

⁸ „(...) the facts leading the mind feebly to comprehend the lapse of time“ DARWIN (1872, 408).

⁹ „He who can read Sir Charles Lyell’s grand work on the Principles of Geology, which the historian will recognise as having produced a revolution in natural science, and yet does not admit how vast have been

the past periods of time, may at once close this volume“ (DARWIN 1872, 408).

¹⁰ Es handelt sich nach heutiger Klassifikation im Wesentlichen um die chronostratigraphische Einheit „System“.

¹¹ THOMPSONS (Lord Kelvin) Berechnung der Abkühlungszeit der Erde bezog sich auf die Annahme, dass der Ausgangszustand der Erde ein vollkommen geschmolzener Körper gewesen sei. DARWIN (1872, 438): „Sir W. Thompson concludes that the consolidation of the crust can hardly have occurred less than 20 or more than 400 million years ago, but probably not less than 98 or more than 200 million years.“

¹² „All geological facts tell us plainly (...)“ (DARWIN 1872, 419).

Aber haben DARWINs Argumente Substanz? Der LYELL'sche Uniformitarismus (vgl. Punkte a-c) ist theoriegeladen und mit Feldbeobachtungen überhaupt nicht verträglich (z. B. AGER 1993); er ist nicht geeignet, die Erdvergangenheit zu entschlüsseln (→ 2-21). Im Lichte moderner Sedimentologie erweist sich, dass die Mächtigkeit einer Schichtfolge nicht von der verflossenen Zeit, sondern insbesondere von den jeweiligen energetischen Bedingungen abhängig ist. Es gilt nicht, dass eine mächtigere Schichtfolge mehr Zeit repräsentiert als eine vergleichsweise geringmächtigere Schichtfolge. Insofern ist die bloße Demonstration von „beeindruckenden“ Schichtmächtigkeiten nichtssagend und irreleitend, eine Aufaddieren von Maximalmächtigkeiten sogar „doppelt“ irreleitend (vgl. Punkt d). Das gleiche gilt für die Erosion. Und dort, wo zwischen „Formationen“ Schichtlücken bestehen (vgl. Punkt e) sind anderswo kontinuierliche Übergänge ausgebildet. Für seine eigene Kalkulation (vgl. Punkt f) erntete DARWIN viel Kritik; selbst den Uniformisten war der Wert um einen Faktor 300 zu hoch. Hier trat DARWIN den „geordneten Rückzug“ an; seine „entsetzlich naive“¹³ Schätzung fehlte ab der 3. Auflage seines Werkes.

Unvollständigkeit der geologischen Überlieferung

Der möglicherweise offensichtlichste und schwerwiegendste Einwand gegen seine Theorie, so DARWIN selbst, ist das Fehlen von Zwischengliedern in der geologischen (fossilen)

Überlieferung; sie werden von ihm als „intermediate links“, „transitional links“ oder „transitional forms“ bezeichnet.¹⁴ Ein zusätzliches, für seine Theorie fatales „Faktum“ wäre, analog zur Zeitfrage (s. o.), wenn zahlreiche Arten, die zur selben Gattung oder Familie gehören, geradezu plötzlich in das Leben eintreten würden.¹⁵

Mit der Unvollständigkeit der geologischen Überlieferung bzw. der Lückenhaftigkeit der Fossilüberlieferung erklärt DARWIN folgende Aspekte:

- Das Fehlen zahlreicher Zwischenvarietäten (Zwischenglieder) in jeder einzelnen Formation.¹⁶
- Das plötzliche Auftreten ganzer Gruppen verwandter Arten innerhalb einer Formation.¹⁷
- Das plötzliche Auftreten ganzer Gruppen verwandter Arten in den untersten bekannten fossilführenden Schichten (Kambrium, z. B. Trilobiten). Konsequenterweise postuliert er eine präkambrische Zeitspanne, die möglicherweise länger andauerte als das gesamte Phanerozoikum.¹⁸

Dass es sich hierbei nicht nur um eine Erklärung, sondern ebenfalls um eine fundamentale Annahme handelt, zeigt u. a. folgende Textpassage: „Meinerseits, LYELLS Metapher folgend, betrachte ich die geologische Überlieferung als eine Geschichte der Welt, die unvollständig erhalten und in einem wechselnden Dialekt geschrieben ist; von dieser Geschichte besitzen wir alleine den letzten Band, der sich nur auf zwei oder drei Länder bezieht.“¹⁹

¹³ „(...) appallingly naïve“ (BURCHFIELD 1974, 303).

¹⁴ „Why then is not every geological formation and every stratum full of such intermediate links? Geology assuredly does not reveal any such finely-graduated organic chain; and this, perhaps, is the most obvious and serious objection which can be urged against the theory. The explanation lies, as I believe, in the extreme imperfection of the geological record“ (DARWIN 1872, 406).

¹⁵ „If numerous species, belonging to the same genera or families, have really started into life at once, the fact would be fatal to the theory of evolution through natural selection“ (DARWIN 1872, 432).

¹⁶ „What geological research has not revealed, is the former existence of infinitely numerous gradations, as fine as existing varieties, connecting together nearly all existing and extinct species. But this ought not to be expected (...)“ (DARWIN 1872, 429).

¹⁷ „The abrupt manner in which whole groups of species suddenly appear in certain formations, has been argued by several palaeontologists – for instance, by Agassiz, Pictet, and Sedgwick – as a fatal objection to

the belief in the transmutation of species“ (DARWIN 1872, 432).

¹⁸ „Consequently, if the theory be true, it is indisputable that before the lowest Cambrian stratum was deposited long periods elapsed, as long as, or probably far longer than, the whole interval from the Cambrian age to the present day; and that during these vast periods the world swarmed with living creatures“ (DARWIN 1872, 438).

¹⁹ „For my part, following out Lyell's metaphor, I look at the geological record as a history of the world imperfectly kept, and written in a changing dialect; of this history we possess the last volume alone, relating only to two or three countries. Of this volume, only here and there a short chapter has been preserved; and of each page, only here and there a few lines. Each word of the slowly-changing language, more or less different in the successive chapters, may present the forms of life, which are entombed in our consecutive formations, and which falsely appear to have been abruptly introduced. On this view, the difficulties above

Wie wird die geologische Überlieferung heute beurteilt? Grundsätzlich hat sich das paläontologische Bild im Verlauf der letzten 150 Jahre nicht verändert. In ihrer erstmaligen Überlieferung („erstmaliges Erscheinen“) treten neue Gruppen von Lebewesen relativ abrupt und vielgestaltig auf – nicht in Form einer allmählichen Steigerung der Formenvielfalt. Die präkambrisch-kambri-sche Diskontinuität ist noch viel ausgeprägter als DARWIN (1872, 437-443) sie wahrgenommen und beschrieben hat; eine hochdifferenzierte Organismenwelt aus allen bekannten Tierstämmen, die Hartteile besitzen, ist in kambrischen Sedimentgesteinen urplötzlich und vielfältig vertreten („kambrische Explosion“²⁰).

Zur Lückenhaftigkeit der Fossilüberlieferung, im Kern zu den Lücken zwischen den Bauplänen, stellte der Paläontologe SCHINDEWOLF (1950, 126) nüchtern fest: „(...) die einzelnen Baupläne stehen ohne wirkliche Zwischenformen gesondert neben- bzw. hintereinander.“ Und weiter (S. 129): „Es sollte aber doch zu denken geben, dass trotz unermüdlicher Nachsuche sich darunter [bezieht sich auf neue Fossilfunde, MK] niemals die erhofften Reihen von Bindegliedern, die sprichwörtlichen ‚missing links‘ gefunden haben.“ Danach wären die „Lücken“ in der Fossilüberlieferung real, anders ausgedrückt, die Datenlage (Fossilüberlieferung) weitestgehend vollständig. Im evolutionstheoretischen Kontext interpretierte SCHINDEWOLF diesen „Datenbericht“ als sprunghafte Umbildungen (Typostrophismus), d. h. die von DARWIN angenommenen Zwischenformen wären auch gar nicht zu erwarten gewesen.²¹ Diese „Interpretation“ aber ist reine Fiktion.

SCHINDEWOLFS Einschätzung zur Datenlage teilen nicht alle Paläontologen. Die Fossilüberlieferung wird heute – aus Sicht evolutionstheoretischer Überlegungen und je nach Betrachtungsweise – sowohl als weitestgehend vollständig als auch (weiterhin) extrem lückenhaft aufgefasst (vgl. BENTON 2003, der eine mittlere Position mit Tendenz zu vollständig einnimmt). BENTON et al. (2000) sehen auch keine Anzeichen für einen Rückgang der Qualität der Fossilüberlieferung

mit zunehmenden geologischen Alter.²² RUDWICK (2014, 293) beurteilt die Fossilüberlieferung des Phanerozoikum als „fairly complete and continuous“.

Die Unvollständigkeit der geologischen Überlieferung wird von DARWIN nicht aus dem Feldbefund gefolgert, sondern ist theoriegeleitet; sie ist eine notwendige Annahme, um seine Theorie aufrechterhalten zu können. Die Fossilüberlieferung ist also einerseits extrem unvollständig, andererseits für seine Theorie ausreichend. Aber: Ist die Fossilüberlieferung nur mäßig vollständig, müsste dies zur Ablehnung seiner Theorie führen: „He who rejects this view of the imperfection of the record, will rightly reject the whole theory“ (DARWIN 1872, 478). Diese Zurückweisung erfolgt – rhetorisch geschickt – aber nur auf Einzelfallbasis („He“); denn er weiß, dass die Mehrheit der Geologen und insbesondere LYELL Vertreter einer stark lückenhaften Überlieferung sind. Daher erachtet er seine Theorie als nicht gefährdet.

Aber weder eine ziemlich unvollständige noch eine ziemlich vollständige Fossilüberlieferung führen zwangsläufig zu einer Entwicklungs- oder Abstammungsvorstellung.

Eine Geschichte des Lebens erzählen die Fossilien nicht

Jes RUSTs (2011) Monographie *Fossilien – Meilensteine der Evolution* gibt Einblick in die „moderne paläontologische Evolutionsforschung“²³. Im Grundlagenteil des Buches kann das Zusammenspiel von Daten, Interpretation, Theorie und Weltanschauung gut herausgelesen werden: An den Fossilien (Daten) selbst kann bezüglich der Entstehung der betreffenden Arten *nichts* direkt beobachtet werden. Die Fossilüberlieferung (die Summe aller Daten) erfährt durch die Paläontologie²⁴ „eine theoriegeleitete, biologisch orientierte Analyse“, eine „sorgfältige Interpretation, z. B. im Rahmen von evolutionsbiologischen, stammesgeschichtlichen, ökologischen, genetischen oder geologischen Hypothesen (...)“.

discussed are greatly diminished, or even disappear“ (DARWIN 1872, 443).

²⁰ Die „kambrische Explosion“ ist ein interpretativer Begriff, der evolutionstheoretisch belegt ist: eine rasche, explosionsartige (makro-) evolutive Entwicklung, über deren Zeitpunkt, Zeitdauer und Ursache spekuliert wird.

²¹ GOULD hat mit dem Punktualismus („punctuated equilibria“, unterbrochenes Gleichgewicht) Ideen von

SCHINDEWOLF aufgegriffen, siehe ELDREDGE & GOULD (1972).

²² „Finally, there is no evidence for a decline in the quality of the fossil record back through geological time (BENTON et al. 2000).“

²³ Ein Ausdruck RUSTs (2011, 10).

²⁴ Personifiziert: einem Großteil der Paläontologen.

Eine Geschichte des Lebens indes erzählen die Fossilien nicht. Dies lässt sich von RUSTs (2011, 10) Aussagen klar ableiten: „Ohne evolutionäres Denken und eine zugrunde liegende Theorie der Evolution bleiben die Fossilien lediglich interessante und für die Altersbestimmung nützliche Überreste von Organismen vergangener Zeiten. Eine ‚Geschichte des Lebens‘ erzählen sie ohne die Einsicht, dass der beobachtbare Wandel auf Evolution beruht, indes nicht.“

Manche mögen „evolutionär denken“ und diese Einsicht gewonnen haben; beides, das „evolutionäre Denken“ als auch die Einsicht, leiten sich aber nicht zwangsweise und schlüssig aus den Daten ab, sondern sind willentliche persönliche Entscheidungen.

Fazit

DARWINS Argumentationsagglomerat, „As this whole volume is one long argument (...)“, ist unterlagert von einem gewaltigen, vielschichtigen Theoriengebäude. Eine Schicht sind die dem Leser jeweils zu Beginn dargelegten Sollbruchstellen seiner Theorie, eine geschickte Rhetorik. An ihnen können u. a. die wesentlichen Annahmen DARWINS abgeleitet werden.

DARWIN hat die quasi-dimensionslose geologische Zeit mit Inhalt aufgeladen: Einer [theoretischen] Entwicklung der Organismenwelt über unvorstellbar lange Zeitperioden von einem gemeinsamen Ursprung zu einer reichen Vielfalt; sie zeigt sich in der fossilen Überlieferung und der heutigen Lebewelt. Seine Argumente für eine lange Zeitskala wiederum basieren auf weiteren hypothetischen, nicht verifizierbaren Annahmen.

Es scheint, als sei DARWINS unermesslicher Zeitbedarf durch die Größenordnung radiometrischer Altersbestimmungswerte posthum „befriedigt“ und sein Zeitdilemma²⁵ gelöst worden. Aber nur scheinbar. Denn auch die radiometrische Methode gründet auf fundamentale Annahmen: Schließlich ist nicht bekannt, in welcher Beziehung radiometrische Alter zum realen Alter stehen (→ 4-01, 4-10).

Der große Zugewinn an Fossilien der letzten 150 Jahre hat keine klar identifizierbaren

makroevolutiven Zwischenglieder zu Tage gebracht, auch wenn immer wieder solche Zuweisungen versucht werden. Aus heutiger Sicht hat sich interessanterweise DARWINS (zukünftige) Einschätzung hierzu bestätigt²⁶; aber aus einer als *unvollständig* interpretierten *Fossilüberlieferung* leitet sich nicht zwangsläufig eine (Makro-) Evolution ab.

Es gilt festzuhalten: Unermessliche Zeit und unvollständige Fossilüberlieferung bleiben fundamentale Annahmen der Abstammungs- und Entwicklungstheorie DARWINS.

Literatur

- AGER DV (1993) The nature of the stratigraphical record. Chichester.
- BENTON MJ (2003) The quality of the fossil record. In: DONOGHUE PCJ & SMITH MP (eds.) Telling the Evolutionary Time: molecular clocks and the fossil record. Abingdon, 66-90.
- BENTON MJ, WILLS MA & HITCHIN R (2000) Quality of the fossil record through time. *Nature* 403, 534-537.
- BURCHFIELD JD (1974) Darwin and the Dilemma of Geological Time. *Isis* 65, 300-321.
- DARWIN C (1859) On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life. London. [http://darwin-online.org.uk/converted/pdf/1859_Origin_F373.pdf]
- DARWIN C (1859) On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life. 2nd ed., London. [http://darwin-online.org.uk/converted/pdf/1860_Origin_F376.pdf]
- DARWIN C (1860) Über die Entstehung der Arten im Thier- und Pflanzen-Reich durch natürliche Züchtung, oder Erhaltung der vervollkommenen Rassen im Kampfe um's Daseyn. (Nach der zweiten [englischen] Auflage mit einer geschichtlichen Vorrede und anderen Zusätzen des Verfassers für diese deutsche Ausgabe aus dem Englischen übersetzt und mit Anmerkungen versehen von Dr. H. G. Bronn). Stuttgart. [<http://caliban.mpiz-koeln.mpg.de/darwin/arten2/index.html>]

²⁵ „It was to be more than twenty years after Darwin's death before radioactivity would provide the answer that he hoped for and thus resolve the dilemma. But, in the mean-time, the majority of biologists followed his lead, confident that however long it had taken, natural selection had played a critical role in the

successive appearance of new species“ (BURCHFIELD 1974, 321).

²⁶ „If then the geological record be as imperfect as many believe, and it may at least be asserted that the record cannot be proved to be much more perfect, the main objections to the theory of natural selection are greatly diminished or disappear“ (DARWIN 1872, 481).

- DARWIN C (1872) *The Origin of Species*. 6th edition, reprint 1993, New York.
- ELDRIDGE N & GOULD SJ (1972) Punctuated equilibria: An alternative to phyletic gradualism. In: SCHOPF TJM (ed) *Models in paleobiology*. San Francisco, 305-332.
- GOULD SJ (1990) Die Entdeckung der Tiefenzeit. Zeitpfeil oder Zeitzyklus in der Geschichte unserer Erde. München Wien.
- LETTRA M (2010) *Time Matters: Geology's Legacy to Scientific Thought*. Hoboken, USA.
- LYELL C (1830-33) *Principles of Geology*. Being an Attempt to Explain the Former Changes of the Earth's Surface by Reference to Cause Now in Operation. London.
- RUDWICK MJS (2014) *Earth's deep history. How it was discovered and why it matters*. Chicago, London.
- RUST J (2011) *Fossilien – Meilensteine der Evolution*. Darmstadt.
- SCHINDEWOLF OH (1950) *Grundfragen der Paläontologie*. Stuttgart.

→ und Blattnummer: Verweis auf andere Beiträge der Online-Loseblattsammlung.

Zur Ergänzung → 2-01, 2-02, 2-03.