

Rainer König: Exzerpt zu Henry Gee: Eine (sehr) kurze Geschichte des Lebens

Unsere Erde wie unser Sonnensystem entstand aus den Resten einer Supernova (S. 6). Die junge Erde war damals umgeben von einer tödlichen Nebel-Atmosphäre aus Methan, Kohlendioxid, Wasserdampf und Wasserstoff. Die Oberfläche war ein Meer glutflüssiger Lava. Irgendwann war die Erde so weit abgekühlt, dass der Wasserdampf in der Atmosphäre kondensierte und als Regen zu Boden fiel. „Es regnete etliche Millionen Jahre lang, so lange, bis die ersten Ozeane entstanden waren.“ Dann war alles Meer, es gab kein Land.

Die Erde drehte sich schneller als heute und der neue Mond hing drohend und dicht über dem schwarzen Horizont. „Jede laufende Flut war ein Tsunami.“ (S. 7)

„Heute ist die Erde eine rotierende Kugel aus flüssigem Metall. Die eigene Gravitationskraft und der Zerfall schwerer radioaktiver Elemente wie Uran entsandten in den letzten Zuckungen der alten Supernova, halten ihn beständig heiß.“ (S. 7)

„Die emporsteigende Wärme weicht die oberen Schichten auf, lässt die weniger dichte, aber festere Kruste bersten, treibt die Einzelteile auseinander und lässt dazwischen neue Ozeane entstehen. Diese Teile, die tektonischen Platten, sind immer in Bewegung.“ (S. 7) Was Berge nach oben schiebt und andere Teile in die Tiefsee treibt.

Inmitten all dieses Chaos entsteht Leben. Es nahm seinen Anfang in den Tiefen des Meeres, wo die Kanten der tektonischen Platten steil abfielen und wo siedend heiße, mineralreiche Wasserstrahlen unter extremem Druck aus Rissen im Meeresboden strömten.“ (S. 8)

„Die ersten Lebensformen waren kaum mehr als schleimige Membranen über mikroskopisch kleinen Felsspalten.“ (S. 8) Innen war es geordneter, ruhiger als außen. Und im Laufe der fingen sie an, kleine Bläschen von sich abzutrennen, „jede in eine eigene Teilschicht der Muttermembran gehüllt.“ Das geschah zunehmend planvoller (S. 9)

Diese ersten Formen des Lebens entwickelten sich gerade einmal 100 Mio. Jahre nach der Bildung des Planeten. (S. 10)

„Vor 3,7 Milliarden Jahren hatte sich das Leben aus der ewigen Finsternis der Ozeane bereits bis zur sonnenbeschieneenen Wasseroberfläche vorgearbeitet. Vor 3,4 Milliarden Jahren hatten Lebewesen begonnen, sich billionenfach zusammenzuschließen und so große Riffe zu bilden, dass sie selbst vom Weltraum aus zu sehen waren. Das Leben hatte endgültig Fuß gefasst.“ (S. 10)

Diese Riffe waren keine Korallen, sondern grünliche haarfeine Fäden aus Schleim, die sich aus mikroskopisch kleinen Organismen, den sog. Cyanobakterien zusammensetzten. Sie bilden noch heute den bläulich-grünen Glibber auf Gartenteichen. Ihre schichtartig geformten Haufen (Stomatolithen) waren 3 Mrd. Jahre „die unangefochtenen Herrscher dieser Welt“, die bislang erfolgreichste Lebensform (S. 11).

Die Welt enthielt damals noch keinen Sauerstoff. Und da die schützende Ozonschicht fehlte, tötete die ultrviolette Sonnstrahlung alles Leben oberhalb der Meeresoberfläche. Die

Kolonien der Cyanobakterien bildeten Pigmente, die die schädliche Strahlung absorbierten. Im Weiteren nutzten diese Bakterien diese Pigmente, um Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoffatome miteinander zu verschmelzen, um daraus Zucker und Stärke zu gewinnen. = Photosynthese (S. 11) Bei heutigen Pflanzen nennt man dieses Pigment Chlorophyll. „Es nutzt die Sonnenenergie, um Wasser in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff aufzuspalten, wobei Energie für weitere chemische Reaktionen frei wird. Abfallprodukt war dabei Sauerstoff, ein Gas, das alles in Brand setzt, womit es in Berührung kommt.“

Allerdings verursachte dieser Hauch von Sauerstoff für Lebensformen, die ohne ihn entstanden waren, eines von vielen Massensterben in der Erdgeschichte. Ein „Massensterben, bei dem etliche Generationen von Lebewesen bei lebendigem Leibe verbrannt wurden.“ Das war die große Sauerstoffkatastrophe vor ca. 2,4-2,1 Mrd. Jahren, in der die Sauerstoffkonzentration in der Atmosphäre auf mehr als die heutigen 21% stark anstieg, sich dann aber wieder auf knapp 2 % einpendelte (S. 12).

Allerdings wurden riesige Mengen kohlenstoffreichen organischen Materials – die Überreste von Generationen von Lebewesen – unter dem Meeresgrund begraben, wo der Sauerstoff ihnen nichts anhaben konnte. (S. 13)

Der Entzug von Methan und CO₂ führte zudem dazu, dass die Erde in die erste und größte ihrer vielen Eiszeiten stürzte. Der gesamte Planet verwandelte sich für 300 Mio. Jahre in einen Eis- oder Schneeball. (S. 13)

Viele lebende Wesen starben, das Leben selbst jedoch vollzog seine nächste große Revolution.

„In den ersten zwei Milliarden Jahren der Erdgeschichte beruhten die komplexesten Lebensformen auf der Bakterienzelle.“ (S. 13) „Auf den Kopf einer Stecknadel würden mehr Bakterien passen als Hippies einst nach Woodstock pilgerten, und das mit jeder Menge Platz zum Tanzen.“ (S. 13)

„In den ersten zwei Milliarden Jahren der Erdgeschichte beruhten die komplexesten Lebensformen auf der Bakterienzelle.“ (S. 13) Das steht aber in GEOkompakt 23 anders: Hiernach haben sich Archaeen und Bakterien vor 3,5 Mrd. J. erst einmal parallel entwickelt, bevor dann so vor 2. Mrd. Jahren Archaeen Bakterien umschlossen und so die ersten Eukaryoten entstanden.

„Die Anzahl von Bakterienzellen im (und auf dem) menschlichen Körper übertrifft die Anzahl menschlicher Zellen darin um ein Vielfaches.“ (S. 14)

Außerdem sind sie sehr robust: „Es gibt Bakterien, die im luftleeren Weltraum, unter extremen Temperaturen oder Druck oder in einem Salzkorn eingeschlossen überleben können – und das Millionen Jahre lang.“ (S. 15)

Es sind sehr gesellige Lebewesen, die sich zusammentun, um z.B. Chemikalien oder sogar Gene auszutauschen. So entstehen bei ihnen Resistenzen: „Besitzt ein Bakterium kein Resistenzgen für ein bestimmtes Antibiotikum, bedient es sich einfach am genetischen Wühltisch aller Arten in seiner Umgebung.“ (S. 15)

Diese Neigung von Bakterien, Lebensgemeinschaften mit anderen Bakterienarten zu bilden, ebnete den Weg zur nächsten großen evolutionären Neuerung: das der kernhaltigen Zelle (S. 15).

„Irgendwann vor mehr als zwei Milliarden Jahren, gewöhnten sich kleine Bakterienkolonien an, innerhalb einer gemeinsamen Membran zu leben.“ So konnte man leichter Stoffe und Gene austauschen. Danach konzentrierten sich die Bakterienarten auf bestimmte Aufgaben – Cyanobakterien spezialisierten sich darauf, die Energie des Sonnenlichts einzufangen - so wurden sie zu Chloroplasten (S. 16). Andere wurden zu Mitochondrien, den Kraftzentren in den Zellen.

„Was als lose Gemeinschaft begonnen hatte, wurde nun zu einer komplexen Einheit, einer neuen Ordnung des Lebens – der kernhaltigen oder ‘eukaryotischen’ Zelle.

(das steht in GEOkompakt23 anders, hier sind Bakterien und Archaeen aus einer Urzelle entstanden, bevor dann vor 2,75 Mrd. Jahren ein Bakterium von einem Archaeum umschlossen wurde und daraus der erste Eukaryot entstand. Was denn nun? Nach Wikipedia bin ich schlauer: Archaeen hießen früher Urbakterien, sind also auch Bakterien!)

Bakterien vermehren sich in der Regel, indem sie sich in der Mitte teilen. Bei Eukaryoten dagegen produziert jeder Elternteil eigens dafür konzipierte Fortpflanzungszellen, die einen durchgeplanten Austausch von genetischem Material vollziehen. Dabei werden die Gene der Elternteile miteinander kombiniert. Diesen Austausch von Genmaterial nennt man Sex. (S. 16) Das führte zu mehr genetischen Variationen und Diversität und der allmählichen Verschmelzung von Eukaryotenzellen zu mehrzelligen Organismen. (S. 17)

„Die Eukaryoten entstanden heimlich, still und leise in einem Zeitraum zwischen 1850 und 850 Millionen Jahren vor unserer Zeit.“ (S. 17)

Vor 1200 Millionen Jahren fingen sie an, verschiedene Arten auszubilden – frühe Verwandte von Algen und Pilzen.

„Das erste Anzeichen, das sich etwas Unheilvolles zusammenbraute, war das Auf- und Auseinanderbrechen eines Superkontinents namens Rodinia.“ (S. 18)

Das hatte eine Reihe von Eiszeiten zur Folge, wie es sie seit der großen Sauerstoffkatastrophe nicht mehr gab. Sie dauerten 80 Mio. Jahre. Damals bestand das Leben auf der Erde aus kaum mehr als einem Haufen friedliebender Seegräser, Algen, Pilzen und Flechten. Doch es erwies sich als zäh. „Das Leben auf der Erde wurde im Feuer geschmiedet, gehärtet aber wurde es im Eis.“ (S. 18)

2. Auftritt der Tiere

Rodinia begann vor 825 Mio. E Jahren auseinanderzubrechen. Das dauerte fast 100 Mio. Jahre und ließ eine Kette von Kontinenten rund um den Äquator entstehen. Damit verbundene Eruptionen förderten jede Menge des Magmagessteins Basalt an die Oberfläche. Jede Menge kohlenstoffhaltiger Ablagerungen wurden in die Meerestiefen befördert. Solange Kohlenstoff oxidiert, heizt das die Erde auf. Wird der Erdoberfläche aber Kohlenstoff

entzogen, kühlt sie ab. Dieser Reigen bestimmt den weiteren Verlauf der Erde und des Lebens (S. 20). Und die „Eiszeiten“ erweisen sich als Treibfeder der Evolution. Sie bereiteten einer neuen Art von Eukaryoten den Weg: den Tieren (S. 20).

Im Meer gab es so gut wie keinen Sauerstoff und in der Atmosphäre nur 1/10 der heutigen Menge. (S. 21)

Doch es gab Tiere, die damit auskamen: Schwämme. Sie erschienen vor etwa 800 Mio. Jahren, als Rodinia begann, auseinanderzubrechen.

Schwämme sind sehr schlichte Lebewesen, eigentlich nur ein formloser Haufen tausender Zellen. „Schwämme haben keine ausgebildeten Organe oder verschiedene Arten von Körpergewebe: Presst“ man sie durch ein Sieb und legt sie zurück ins Wasser, fügen sie sich zu einer neuen Form zusammen, die ebenso lebendig ist, wie zuvor (s. 21).

Die langsame Arbeit dieser Schwämme führte zu einer größeren Ansammlung an Kohlenstoff am Meeresgrund. Dieser Kohlenstoff stand somit nicht mehr für eine Reaktion mit Sauerstoff zur Verfügung. „Die Folge war ein steter Anstieg des im Meer wie auch in der Luft direkt darüber gelösten Sauerstoffs.“ (S. 22)

„Die Entwicklung eines separaten Anus durch manche Arten sonst eher unauffälliger Würmer ... veränderte die gesamte Biosphäre. Zum ersten Mal wurden Ausscheidungen zu festen Kugeln komprimiert, anstatt als Brühe aus gelösten Exkrementen ins Wasser zu gelangen.“ (S. 23) Die Fäkalien trieben jetzt nämlich auf den Meeresboden und zogen fäulnisvorantreibende, sauerstofffressende Organismen an (S. 23). Die einst trüben Meere wurden klarer und reicherten sich weiter mit Sauerstoff an. So viel gar, dass sich auch größere Lebensformen entwickeln konnten. Auch war jetzt vorne und hinten der Tiere klar: vorne war der Kopf und hinten der Schwanz.

„Der Seetang gediehet prächtig und lieferte den frühen Tieren gehaltvollere Kost als nur Bakterien.“ (S. 24).

„Womöglich waren es gerade die Widrigkeiten der eisumhüllten 'Schneeball-Erde', der wir die zunehmend Komplexität im frühen Tierreich zu verdanken haben.“ (S. 24)

Tierisches Leben erschien vor rund 635 Millionen Jahren auf der Bildfläche, in einem Zeitalter, das man Ediacarium nennt.“ Es waren elegant geformte, fächerartige Lebewesen, die da die Erde bevölkerten. (S. 24)

Die ersten tierartigeren Wesen erschienen etwas später, so etwa vor 560 Mio. Jahren, als die Tiere anfangen, „sich in Bewegung zu setzen“ (S. 26). Wozu sie – anders als z.B. Quallen - eine (relativ) stabile Außenhülle (über Knochengestüt oder Außenpanzer) brauchten. Zudem besitzen sie einen durchgehenden Darm mit einem Mund an dem einen und einem Anus an dem anderen Ende (S. 27).

„Die Tiere im paradiesischen Ediacarium waren in der Regel weich, schwammig und wehrlos. Die Vertreibung aus dem Paradies war hart und gnadenlos – und folgte einer weiteren großen Umwälzung in der Geschichte unseres Planeten.“ (S. 28)

Vor 541 Mio. Jahren begann das Kambrium „der zweiten großen Blütezeit tierischen Lebens auf der Erde. Doch nun waren es Tiere, die sich eingruben, die schwammen, kämpften und sich gegenseitig auffraßen. Sie besaßen Skelette und hatten Zähne (S. 29). Im Burgess-Schiefer in Nordamerika kann man ein Panoptikum der damals lebenden Vielfalt an Geschöpfen bewundern. (S. 30) Viele ähneln nur entfernt heutigen Tieren. (S. 31)

Vor rd. 252 Mio. J. am Ende des Perms starben sie aus (S. 29).

Weitere Fundstätten entdeckte man über den gesamten Globus verteilt (S. 32)

„Das erstaunliche Aufblühen neuer Lebensformen im Kambrium, das sich im Laufe von nur 56 Mio. Jahren ereignete, ist noch immer unübertroffen“ (S. 33).

Die sog. Kambrische Revolution begann mit dem Zerfall Rodinias und der Entstehung und dem Niedergang der seltsam faszinierenden Ediacaraa-Fauna und endete vor rd. 480 Mio. Jahren (S. 33).

„Am Ende des Kambriums waren bereits alle großen Stämme heutiger Tierarten ein erstes Mal im Fossilbereich in Erscheinung getreten (S. 34) – wie Gliederfüßer, Würmer, Stachelhäuter (z.B. Seeigel) und die Wirbeltiere (Tiere mit Wirbelsäule).

Die Wirbelsäule wächst

Ihre Geschichte beginnt im sandigen Schlamm, wo ein stecknadelkopfgroßes Geschöpf namens Saccorhytus ein karges Dasein fristete (S. 36). Einige seiner Nachfolger wurden größer, wendiger, besser gepanzert oder gefährlicher. Größe hat einen klaren Vorteil: „Es verringert die Gefahr, im Ganzen geschluckt oder gefressen zu werden“, obwohl man andererseits schneller häppchenweise angeknabbert werden kann. Der Panzer aus mineralreichen Meeren sollte das verhindern. Vor allem das Mineral Kalziumkarbonat wurde dazu verwandt. (S. 37) Auch die Stachelhäuter wie Igel entstammen dieser methodischen Tradition.

Andere entwickelten die Strategie des Fliehens mit Hilfe eines langen biegsamen Schwanzes, der sich aus einem rudimentären Darmfortsatz entwickelte (S. 38)

Bei manchen wuchs nach vorn über den Rachen hinweg, bis es ihn einschloss und dem Tier eine fischähnliche Form gab. (S. 39)

ES gab auch andere Tiervarianten – z.B. die Manteltiere, wo Schwanz und Rachen nur zeitweise im Leben genutzt werden und dann absterben bzw. erst ausgebildet werden (S. 41). „Die Lebensweise der Manteltiere hat sich seit dem Kambium nicht verändert.“ (S. 41)

Die Wirbeltiere dagegen verwandelten ein zunächst zur Flucht gedachtes Hilfsmittel (den Schwanz) in ein Instrument der Vorwärtsbewegung. (S. 42) Sie verbrachten ihr Leben auch nicht nur an einem Ort, sondern streiften ständig umher. Deshalb brauchten sie auch ein besonderes Sinnesinstrumentarium – paarweise Augen, Geruchssinn etc. Dadurch wurden sie sich ihrer Umgebung viel bewusster als z.B. die Manteltiere. Das komplexe Sensorium erforderte aber auch ein komplexeres zentrales Hirn. Und so brachte die schlammige Brühe des kambrischen Meeresbodens Fische hervor. (S. 42) Weil diese viel aktiver waren als ihre

Manteltierverwandten, brauchten sie auch eine bessere Versorgung mit Sauerstoff. Die Kiemen entstanden und danach wurde der Rachen mit Kiefer etc. aufgepeppt (S. 43).

„Ein Grund, wieso Wirbeltiere mehr Energie benötigen als andere Tiere, ist, dass sie in der Regel recht groß sind.“ (S. 43)

Die artenreichsten Wirbellosen sind die Insekten. Ihr Körper wird von einem Außen- oder Exoskelett gestützt, da aus einem Chitin genannten Protein besteht (S. 44). Wenn es wächst, stößt es seine ganze Außenhülle ab und wartet, bis die neue, noch recht weiche Hülle ausgehärtet ist, bevor es sich bewegen kann. Ab einer gewissen Größe würde es bei diesem Warten von ihrem eigenen Gewicht erdrückt. Deshalb sind sie so klein. (S. 449)

Die primitivsten noch heute lebenden Wirbeltiere sind Neunaugen und Schleimaale – kein Panzer, kein Kiefer, keine Flossen. Dann traten im späteren Kambrium dick gepanzerte Fische auf. Die Schichten ihrer Panzer (Knochen, Zahnbein und Zahnschmelz) finden sich noch heute in dieser Reihenfolge in unseren Zähnen. Im Grunde genommen besaßen diese frühen Wirbeltiere am ganzen Körper Zähne (S. 45).

„auch heute noch haben die Schuppen eines Hais die Form winziger Zähne, weshalb Haihaut auch so rau ist“ (S. 45).

Zug um Zug wanderten dann bei den Fischen die Augen auseinander, um „Platz für ein einzelnes Nasenloch zu machen“ (S. 47). Das Gehirn hatte sich in eine linke und eine rechte Hälfte aufgespalten und somit das Gesicht verbreitert. Dann wurde der Weg für den Kiefer berietet. „Heute machen Kieftiere über 99 Prozent der Wirbeltiere aus.“ (S. 47)

„Der Kiefer entstand, indem der erste Kiemenbogen sich in der Mitte teilte und in einer Art Scharnier nach hinten klappte, sodass Ober- und Unterkiefer entstanden.“ (S. 48)
Placodermi hießen diese Fische.

Als Nachfahren kamen dann andere Arten kiefertragender Wirbeltiere auf: die Knorpelfische (Haie, Rochen etc.), die Knochenfische (das sind die meisten heutigen Fische) und eine weitere ausgestorbene Gruppe (Stachelhaie) (S. 49)

4 Fester Boden

Wenige Organismen hatten sich bislang aufs Trockene gewagt. Die Gründe:

1. Lange Zeit gab es wenig Land, die Kontinente wuchsen erst langsam aus Vulkaninseln zusammen. (S. 52)
2. Das Leben an Land ist hart. Man spürt hier jedes Gramm des Eigengewichts und in der Sonne trocknet man aus. Jedes (Wasser-)Geschöpf wäre verdorrt, erstickt und zermahlen worden. Zudem gab es nichts als karges Vulkangestein. Die Erde oberhalb der Wasserfläche war so trocken und leblos wie die Oberfläche des Mondes (S. 53).

Zunächst ging es vor 1,2 Mrd. Jahren mit Algen in der Nähe von Tümpeln und Flüssen los. Vielleicht mit einigen versteckten Bakterien darin (S. 53). Die ersten Tiere wagten sich wohl nur erst kurz aufs Land.

„Die tatsächliche Eroberung des Landes begann erst Mitte des Ordoviziums, vor rund 470 Mio. Jahren“ (S. 53) – etwa zur gleichen Zeit, als im Meer viele der merkwürdigen Kreaturen von „einer moderneren Riege ersetzt wurden“ (S. 53).

Durch Rückgang von CO₂ kam es zur Eiszeit – vor 460-440 Mio. Jahren. Viele Spezies von Meerestieren starben aus (S. 54).

Aber das Leben erfand sich danach neu bzw. passte sich an. „Über das einst so karge, triste Land breitete sich ein strahlend grünes Kleid.“ (S. 54) Vor 410 Mio. Jahren gab es schon Wälder, die aus Moosen und Farnen bestanden (S. 55). Und aus den klammen Nischen dieser Waldböden „krabbelten bald die ersten kleinen Tiere.“ (S. 55)

Die ersten Tiere auf dem Land waren kleine Gliederfüßler: Tausendfüßler, spinnenähnliche Tiere.

Im Laufe des Devons breiteten sich diese Wälder aus. Sie hatten aber wenig mit den heutigen gemein (S. 56). Aber noch viele Mio. von Jahren standen Pflanzen nicht auf dem Nahrungsplan der Tiere (S. 56): zu hart und mit gefährlichen Stoffen versehen.

„Tiere, so wie alles Leben, entwickelten sich ursprünglich im Meer. Die meisten ihrer Nachkommen leben noch immer dort, und auch die Wirbeltiere bilden da keine Ausnahme.“ (S. 57) Die meisten Wirbeltiere sind noch immer Fische.

Lungenfische nutzen ihre Lungen viel häufiger als andere Fische dazu, echte Luft zu atmen – was bei austrocknenden Tümpeln oft sinnvoll ist. (s. 58)

Die ersten Landgänger in der Spätzeit des Devon (vor rd. 370 Mio. J.) waren „fast in jeder Hinsicht Vierfüßer, außer dass ihre Beine – statt in Füßen und Zehen – noch in flossenartigen Fransen endeten.“ (S. 61)

Wie Fußabdrücke aus der Zeit vor 370 – 400 Mio. Jahren zeigen, entstiegen die ersten Landwirbeltiere „unmittelbar dem Meer.“ (S. 61)

Nach dem der Superkontinent Rodinia zerfallen war trieben die Kontinente in dieser Zeit wieder langsam aufeinander zu (S. 62). „Gegen Ende des Devon hatten Gondwana und zwei +große nördliche Landmassen, Euramerika und Laurussia, begonnen sich aufeinander zuzubewegen.“ (S. 62)

Es entstand „eine einzige große Landmasse – Pangäa.“ (S. 62)

„Die Verwitterung der“ durch den Zusammenstoß der Landmassen entstandenen „neuen kargen Gebirge entzog der Luft große Mengen“ CO₂, „drosselte den Treibhauseffekt und führte zur erneuten Vergletscherung Gondwanas, das immer noch über dem Südpol lag.“ Weiteres Massensterben war die Folge. (S. 62) Korallen wurden dezimiert, die letzten Panzerfische starben aus etc. Andere Gattungen überlebten.

Die letzten Epochen des Devon prägten vor allem „die Vielfalt neuer Vierfüßer“ – im Wasser. Viele mit Fingern und Zehen, diese hatten sich also nicht erst an Land entwickelt (S. 63)

Die Tiere im auf das Devon folgenden Karbon „sahen Salamandern ähnlicher als Fischen und hatten sich schließlich darauf geeinigt, wie viele Finger oder Zehen sie am Ende ihrer Gliedmaßen denn haben wollten.“ (S. 65)

Die Fortpflanzung trieb diese frühen Landtiere aber immer noch zurück ins Wasser. (S. 65)
Wie die heutigen Amphibien mussten sie zum Laichen zurück ins Wasser. Es war ein Geschöpf namens Westlothiana, das seine Eier mit fester wasserdichter Schale versah. „Jedes Ei war nun sein eigener kleiner Tümpel und konnte abseits des Wassers abgelegt werden, wodurch die Verbindung zwischen Wirbeltieren und dem Meer endgültig gekappt wurde.“ (S. 65)

Mit der Entstehung von Pangäa starben die Panzerfische aus., zusammen mit den meisten Fleischflosslern. Algenschleim und dünne feine Fäden von Cyanobakterien kehrten zurück und übernahmen die Herrschaft (S. 67)

Die Arten, die überlebten, blieben wieder vorzugsweise im Wasser (S. 67). Einige wenige machten sich aber wieder auf, das unwirtliche Land zurückzuerobern. Sie sahen anders als die früheren Fische mit Beinen. Zu Beginn des Karbons kroch so ein salamanderähnliches Tier an Land. Er hieß Pederpes und hatte -wie bis heute alle – fünf Finger pro Glied. Aber auch ihre Ausflüge ans Land waren noch selten und zögerlich (S. 68).

Die Wälder brauchten eine Zeit, um sich zu erholen. Doch dann wuchsen sie sich zu den gewaltigsten Regelwäldern aus, die die Erde je gesehen hatte. Beherrscht wurden sie von 20 m hohen Schachtelhalmen und Bärlappgewächsen, die z.T. 50 m. in den Himmel wuchsen (S. 69).

Die meisten heutigen Bäume wachsen langsam, leben sehr lange – manchmal Jahrhunderte – und führen durch ein dichtes Blätterdach dazu, dass sich am Boden der Regenwälder ein eigenes Ökosystem entwickeln kann. Die Wälder des Karbons sahen völlig anders aus. Bärlappgewächse waren hohl, für Stabilität sorgte die feste Haut. Es wurden auch keine Stoffe in Stämmen transportiert – vielmehr sorgte ein System von Schuppen für die Photosynthese und Versorgung mit Nährstoffen. Und diese Bäume wuchsen nur, wenn sie sich fortpflanzten. „Sobald alle Sporen abgeworfen waren, starb der Baum. ... Ein Karbonwald glich eher der wüsten Ödnis an der Westfront im Ersten Weltkrieg: eine Kraterlandschaft hohler Stümpfe voller Unrat und altem Wasser“ (S. 70).

Das Wachstum dieser Pflanzen benötigte Unmengen CO², das sie gänzlich aus der Atmosphäre zogen. Das schwächte den Treibhauseffekt und führte zur erneuten Vergletscherung des Südpols. Zudem setzte die von allen diesen Pflanzen betriebene Photosynthese „enorme Mengen Sauerstoff frei“ (S. 71) Die Atmosphäre besaß damals so viel Sauerstoff, dass jeder Blitzeinschlag ganze Sumpfwälder in Brand setzte, was den verschleierte Himmel dauerhaft braun färbte und Unmengen Holzkohle produzierte (S. 71).

300 Mio. Jahre kamen diese vollkommen vom Waldboden eingeschlossenen Bärlappstämme als Kohle wieder zum Vorschein (S. 72). Dieser Kohle verdankt diese Periode ihren Namen Karbon (lag. Carbo, Kohle). „Rund 90 Prozent aller bekannten Kohlevorkommen entstanden in diesem einen ereignisreichen 70-Millionen-Jahre-Intervall, dem Zeitalter der Bärlappwälder“ (S. 72).

Mit den Eiern hatten die frühen eierlegenden Tiere „auch einen Weg gefunden, sich vollständig vom Wasser abzunabeln“ (S. 74).

„Das amniotische Ei war der Schlüssel zum Erfolg der Wirbeltiere an Land.“ (S. 75)
Die Pflanzenwelt erfand die Samen. Die ersten Landpflanzen – die Moose – waren noch Amphibien, da sie zur Fortpflanzung vollständig auf Wasser angewiesen waren. (S. 75)

Der Niedergang der üppig wachsenden Kohlewälder endete mit der Norddrift von Pangäa. Durch die Verschmelzung des Nord- mit dem Südkontinent konnte nicht mehr warmes Wasser vom Äquator rings um den Planeten fließen, er war zu groß. In der Folge gab es starke klimatische Schwankungen, nur in dem Inselkontinent Südchina überdauerten die Bärlappwälder (S. 77).

Der Niedergang der Kohlewälder traf die Amphibien und Reptilien hart. Einige stellten sich der Herausforderung und wandten sich dem Vegetarismus zu. Große Änderung: denn Pflanzen sind sehr viel schwerer zu versauen als Insekten. (S. 78) Es muss von einer Vielzahl von Bakterien in einem großen Darm fermentiert werden. Deshalb sind Pflanzenfresser in der Regel auch so groß, träge und unentwegt am Fressen.

Reptilien und Amphibien können ihre Körpertemperatur nicht organisch regulieren (S. 79). Sie müssen sich erst in der Sonne aufwärmen, bevor sie aktiv werden können. Pelycosaurier waren die ersten Landwirbeltiere, die es lernten, ihren Stoffwechsel aktiv zu beeinflussen. Außerdem entwickelten sie Zähne unterschiedlicher Größe aus, wodurch sie Nahrung effektiver verarbeiten konnten (S. 79). Damit stellten sie Weichen für die Zukunft (S. 79).

Therapsiden waren noch fortschrittlicher. Aus ihnen sollten die Säugetiere hervorgehen – u.a. führten ihre Gliedmaßen eher senkrecht vom Körper zum Boden (S. 80), hatten eine Vielzahl von Zähnen und waren Warmblüter D.h. sie konnten ihren Stoffwechsel unabhängig von der Sonnenstrahlung selbst regulieren. Sie trieben fast alle landlebenden Amphibien wieder zurück ins Wasser (S. 80) und besetzten fast alle ökologischen Nischen.

Zu Zeiten seiner größten Ausdehnung erstreckte sich Pangäa fast von Pol zu Pol (S. 81). An Land kam es zu Tierkreuzungen, die zuvor auf getrennten Kontinenten gelebt hatten. Viele Arten starben aus. Auch hier wurde der Kampf um Lebensraum erbittert geführt (S. 82).

Im Landesinneren herrschte meist Trockenheit und Gluthitze (S. 82). Die Pflanzenwelt war nicht mehr so üppig (Ende des Perms). Damit war auch weniger Sauerstoff in der Atmosphäre. Atmen war so anstrengend wie auf dem Himalaya (S. 83)
Zum Ende des Perms kam die Hölle auf die Erde: Riesige Lava- und Magmamengen brachen im heutigen China hervor, trieben den Treibhauseffekt voran, übersäuerten die Ozeane und zerfetzten die Ozonschicht (S. 83). Die Erde war der ultravioletten Strahlung aus dem Weltall schutzlos ausgesetzt.

Dann strömte eine noch größere Lava-Masse aus Spalten im heutigen Sibirien in eine Fläche, die so groß war wie die USA heute sind. Die sich daraus bildende Basalt-Schicht war mehrere 1000m dick. Der Todeskampf des Lebens auf der Erde zog sich über 500 000 Jahre hin (S. 84).

Das freigesetzte CO₂ heizte die Temperatur weiter auf. Große Teile von Pangäa wurden unbewohnbar. Vulkane spien Schwefeldioxid in die Luft, das kühlte die Erde wieder ab, bevor es als Schwefelsäure niederregnete. (S. 84) Das Erdreich verätzte. Das alles schädigte die

Ozonschicht so sehr, dass ultraviolette Strahlung ungehindert auf die Erde niedergehen konnte. Die Hölle auf Erden. Fäulnisbakterien machten sich über die Kadaver her und verbrauchten den letzten Rest an Sauerstoff (S. 85). Noch schlimmer: Der Magmastrom destabilisierte die riesigen Methan-Lagerstätten unter der Eisschicht im arktischen Ozean. Da Methan ein noch größeres Treibhausgas als CO₂ ist, geriet der Treibhauseffekt völlig außer Kontrolle. Die Erde kochte. Zudem gelangten Wolken von Quecksilberdampf in die Atmosphäre, die den Rest zersetzten.

Nach der Katastrophe waren 19 von 20 Tierarten im Meer und mehr als sieben von 10 auf dem Land ausgestorben. (S. 86)

Doch das Leben sollte wiederkehren, bunter und zügelloser als zuvor (S. 89).

https://internet-evoluzzer.de/erdzeitalter_massenaussterben/

Es dauerte Millionen von Jahren, bis sich das Leben von der Katastrophe erholt hatte. Besonders erfolgreich war dabei Lystrosaurus – mit dem Körper eines Schweins, dem Fressinstinkt eines goldenen Retrievers und dem Schädel eines Dosenöffners gedieh er wie Unkraut in einem Bombentrichter. (S. 90) Sein kräftiger Schädel arbeitete wie ein Bagger: er grub, scharfte, mähte und schaufelte alles, was er finden konnte, in sein gieriges, unablässig mampfendes Maul.“ (S. 90)

9 von 10 Lebewesen waren Lystrosaurier – „die wohl erfolgreichsten Landwirbeltiere, die je gelebt haben.“ (S. 91)

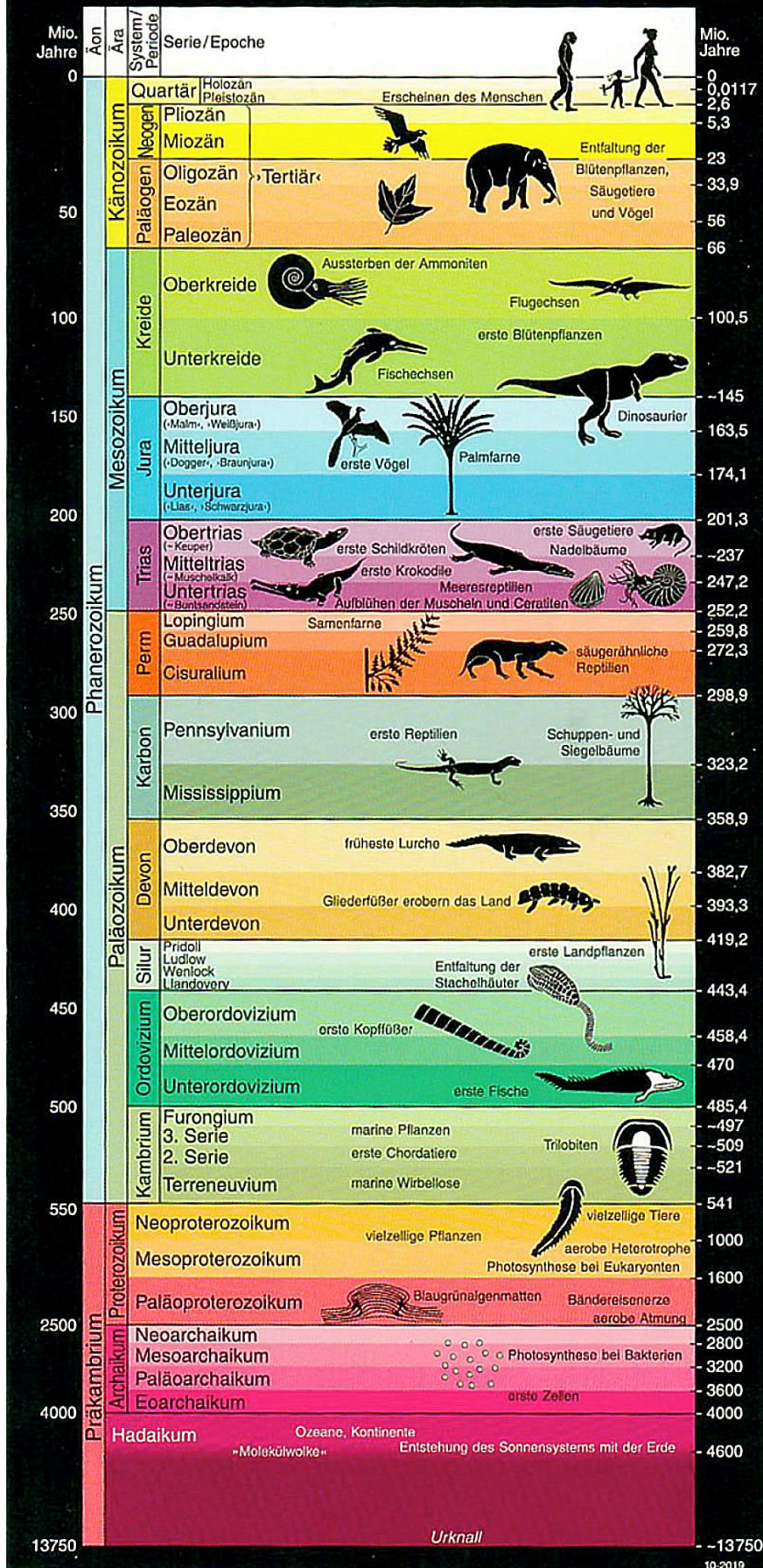
Die Reptilien, die überlebten, waren kleiner als früher und vermehrten sich nun „rasend schnell“ (S. 91). Wie der Frosch oder die Schildkröte (S. 92). Auch die Vorfahren heutiger Eidechsen und Schlangen traten erstmals in der Trias auf (S. 95).

Die Nachfolger der Archosaurier sind heute die Krokodile und Vögel. Zwar gab es die Vögel damals noch nicht, dafür aber im Trias eine Fülle von Sauriern die aussahen, wie Krokodile (S. 96).

Im Perm und im Trias schwangen sich die ersten Wirbeltiere in die Lüfte. (s. 97). Sie wollten den Insekten hinterherjagen, die schon im Karbon fliegen gelernt hatten. „Diese Eroberer der Lüfte waren die Pterosaurier (auch Flugsaurier), die zu den Archosaurier zählten, nahen Verwandten der Dinosaurier.“ (S. 97) Ihr Flügel bestanden aus elastischen Membranen aus Muskel und Haut (S. 97). Die ersten von ihnen ähnelten Fledermäusen. Im Laufe der Evolution wurden sie immer größer. Aber anders als die heutigen Vögel besaßen die damaligen Flugsaurier kein gekieltes Brustbein, das als Ansatz für kräftige Flugmuskeln gedient hätte. Deshalb flogen sie eher selten und stapften mehr über den Boden „wie wandelnde Festzelte“ (S. 99).

Das Auseinanderbrechen von Pangäa wurde ihnen zum Verhängnis: Die Kontinentalverschiebung im Jura und in der Kreide brachte ein wechselhaftes und stürmisches Klima, das sich erheblich von den weit milderen Temperaturen in der Trias unterschied. Die Flugsaurier wurden wie schnurlose Drachen durch die Luft geschleudert, bis sie Kopf voran zu Boden stürzten. (S. 99)

Die Erdzeitalter und die Entwicklung des Lebens



Die Fleischfresser wurden im Verlauf des Trias immer kleiner und pelziger. Sie entwickelten sich zu Säugetieren, aber ihre Zeit war noch nicht gekommen. (S. 99)

In der oberen Trias entstanden dann die ersten Dinosaurier, die aus der Masse krokodilähnlicher Tiere hervorgingen. Ihren Ursprung hatten sie in einer Tiergruppe namens Aphanosaurier (S. 100). Die waren aber wie alle anderen Saurier am Ende der Trias ausgestorben. Die Dinos dagegen eigneten sich den zweibeinigen Gang an und stellten ihren gesamten Körperbau darauf ein. „Und so sollten sie bald über die gesamte Erde herrschen.“ (S. 101)

Zunächst aber waren sie noch Randfiguren „im viel größeren Drama der krokodilartigen Archosaurier.“ (S. 101)

„Die Dinosaurier der Trias begnügten sich im Orchester der Reptilien mit den mittleren Plätzen hinter den gefeierten Solisten. Und dort blieben sie 30 Millionen Jahre.“ (S. 102)

Der Superkontinent Pangäa fing an, auseinanderzubrechen. Vor 201 Mio. Jahren platzte eine riesige Magmablase und bedeckte ganz Nordamerika und das damals angrenzende Nordafrika mit Basalt. Wie 50 Mio. Jahre zuvor schien die Erde wieder das Leben auslöschen zu wollen. Die Krise dauerte 600000 Jahre an. Am Ende strömte das Meer in diesen Graben und bildete die Grundlage für das, was heute der Atlantik ist. (S. 103)

„Wieso die Dinosaurier überlebten, wo doch so viele ähnliche Krokodilartige ausstarben, ist bis heute ein ungelöstes Rätsel.“ (S. 104)

Höhenflug der Dinosaurier

Mit ihrem Masseschwerpunkt an den Hüften, dem langen Schwanz und dem Hüftgelenk als Angelpunkt waren sie in der Lage, „müheles aufrecht zu gehen.“ (S. 105). Die vorderen Gliedmaßen, die zum Laufen nicht benötigt wurden, bildeten sich zurück und konnten für andere Aufgaben genutzt werden – z.B. für das Greifen (S. 105).

„Gebaut wie ein langer Hebel auf zwei Beinen“, konnten sie ständig die eigene Haltung kontrollieren und zudem besaßen sie ein Gehirn, das so hoch entwickelt war wie bei keinem anderen damals lebenden Tier. (S. 105).

Bis zum Ende der Trias hatten sie „jede ökologische Nische auf dem Land besetzen“ können.

Im T-rex „waren alle Potenziale der einzigartigen Bauweise der Dinosaurier auf die Spitze getrieben und hatten ihren Höhepunkt erreicht.“ (S. 106) Seine Zähne konnten müheles Knochen zermalmen (S. 107) Sie schlangen Stücke ihrer Beute unzerkaut herunter, „ein blutiges Gemisch aus Fleisch, Knochen und Panzer.“ (S. 107)

Aber es gab auch ganz kleine Dinos, nicht größer als Krähen.

Die Dinos wurden wegen ihrer Atmung so groß und auch so klein. Säuger bringen Sauerstoff durchs Ein- und Ausatmen sehr ineffizient in den Körper und CO₂ wieder aus ihm heraus. Alles durch dieselben Körperöffnungen. Es ist für Säuger sehr schwer, „die gesamte

verbrauchte Luft auf einmal auszustoßen oder jeden Winkel des Körpers mit einem einzigen Atemzug mit Frischluft zu versorgen.“ (S. 108)

Dinos und ihre Vorfahren entwickelten nun ein System von Luftsäcken, über die die eingeatmete Luft geschleust wurde. Die Dinos waren so voller Luft (S. 108). Das war nötig, denn die Dinos liefen Gefahr, aufgrund ihrer dauernden Aktivität, schnell heiß zu laufen. Luftsäcke eignen sich super dazu, Wärme wieder loszuwerden. Die Dinos waren also luftgekühlt. (S. 108).

Jedes größere Lebewesen hat das Problem, dass sein Volumen ungleich mehr wächst als seine Oberfläche. Will sagen: in seinem Inneren gibt es mehr als von ihm als außen. Das Problem des Transports von Nahrung und Abfallstoffen steigt in Abhängigkeit zur Größe. (S. 109)

Bei steigender Größe kann der Körper diesem Problem durch „eigens darauf ausgelegte Transportsysteme wie Blutgefäße, Lunge“ etc. begegnen oder seine Gestalt ändern wie z.B. den Ohren der Elefanten (S. 109).

Als die Säuger nach dem Niedergang der Dinos immer größer wurden, lösten sie das Problem der Wärmeisolation dadurch, dass sie mit zunehmender Größe immer weniger Haare ausbildeten und schwitzten. Kühlen kann auch das Hecheln fellbedeckter Säuger: Verdunstung der Feuchtigkeit auf der langen Zunge wirkt kühlend.

Beiden riesigen Dinos reichte aber selbst deren große Oberfläche nicht aus, „um die gesamte Wärme abzugeben, die sein raumgreifendes Innenleben produzierte.“ (S. 110)

De Clou: Dinos Luftsäcke dienten zu mehr als nur dazu, Wärme aus der Lunge abzuleiten“ (S. 111) Es leitete sie auch direkt aus den Organen ab, so dass sie nicht erst per Blut durch den gesamten Körper fließen musste. Ihr Luftkühlsystem ermöglichte es den Dinos, größer zu werden als es Säuger je könnten, ohne überzukochen (S. 111).

Schon sehr früh legten die Dinos sich auch Federn zu (S. 111). Anfangs glichen sie eher Haaren. Es diente auch der Wärmung, denn anders als die großen Dinos mussten die kleinen vermeiden, dass sie kostbare Wärme an die Umgebung abgaben (S. 112).

Auch sehr erfolgreich war ihre Strategie des Eierlegens. Viele Wirbeltiere kehrten dagegen wieder zurück zur uralten Gepflogenheit, lebendige Jungen zu gebären (S. 112).

Anfangs legten (auch) alle Säugetiere Eier. Doch fast alle wurden zu Lebendgebärenden. Zu einem beträchtlichen Preis: Hoher Energieaufwand, was zu Größengrenzen bei den Säugern führte (S. 113). Ähnlich wie (viele) heutige Vögel bauten sie auch Nester, zum Teil ganze Nestkolonien, die „die gesamte Landschaft beherrschten“ (S. 113).

„Das amniotische Ei ist ein Meisterwerk der Evolution.“ (S. 113) Es „ist eine vollständig ausgerüstete Überlebenskapsel“ (S. 113) Einmal geschlüpft wuchsen (die meisten) Dinos rasant schnell: T-rex erreichte sein Erwachsenenengewicht von 5 t in weniger als 20 J.

Dinos sammelten über Jahrmillionen alles, was man zum Fliegen brauchte: Federn, raschen Stoffwechsel, effektive Luftkühlung, leichtes Tragwerk. Aber wie und wann hoben sie ab? „Der Anfang lag im Jura, als eine Linie von bereits recht kleinen fleischfressenden Dinosauriern noch kleiner wurde. Und je kleiner sie wurden, je gefiederter wurden sie.“ Um

für ihren schnellen Stoffwechsel so warm wie möglich zu bleiben. (S. 114) Zeitweise lebten sie auf Bäumen und fanden dann heraus, wie man mit gefiederten Flügeln länger in der Luft bleiben konnte. (S. 115)

Flügel bewegen Luftteilchen so, dass Auftrieb entsteht, der proportional zum Tempo zunimmt.

Die besten Flieger sind sehr klein und sie lassen sich treiben. Sie brauchen dazu keine Hilfsmittel wie Flügel. Aber diese sog. Aeroplankton ist dem Wind hilflos ausgeliefert. Dazu brauchen sie Flügel. Bei den kleinsten Insekten ähneln sie eher Paddeln, mit denen sie durch die Luft rudern (S. 116).

Für größere Lebewesen ist die erste Stufe des Fliegens nur eine kontrollierten Fallens, dem Fallschirmspringen nicht unähnlich, das man auch in Gleiten verwandeln kann – was schon einige Reptilien im Perm recht gut beherrschten (S. 117). Säugetiere haben das Gleiten schon kurz nach ihrem ersten Auftreten gelernt (S. 117).

Ist vielleicht Zufall, dass all die Gleiter auf Bäumen lebten. Vielleicht aber auch nicht. Bei den Dinos hatten nur die Kleineren physikalisch Chancen, zu fliegen. Die Größeren konnten nur segeln. (S. 118)

Dass sie das Fliegen lernten, war „reiner Zufall“. Erst eine Familie kleiner fleischfressender Dinos entwickelte ein vollständiges Federkleid, aber noch waren manche schlicht zu groß zum Fliegen. (S. 118)

Auch lustig: Tierarten können Flugfähigkeit auch wieder einbüßen: Z.B. die Laufvögel (Strauße, Emus, Kiwis etc.) oder Pinguine. Letztere haben ihre Flügel zu Flossen umfunktioniert und ´fliegen´ lieber unter Wasser. (S. 121) Kein Wunder, Fliegen ist eine „aufwendige Angelegenheit“ (S. 122).

Trotzdem nahem viele Die Herausforderungen an, so dass es schon in der Kreidezeit viele Vögel gab. (S. 1229)

Bis zum Ende der Kreide hatte sich Pangäa in die vier großen Landmassen geteilt, die wir heute kennen (S. 123). In der Kreide tauchten auch die ersten Blütenpflanzen auf.

„Die Beziehung zwischen Blütenpflanzen und ihren Bestäubern ist subtil, vielgestaltig und komplex, und sie begann zu einer Zeit, als die Herrschaft der Dinosaurier ihren Höhepunkt erreichte.“ (S. 124)

Das Ereignis, das die Kreidezeit und damit die Herrschaft der Dinos beendete, kam „vom Himmel“ (S. 125). Es war ein Asteroid (ws. Mit einem D-messer von 50 km, andere sagen 10 km), der vor 65 Mio. Jahren einschlug. Er schlug mit 20km/h vor der Küste der heutigen Halbinsel Yucatan ein, bohrte sich in die Erdkruste und ließ sie schmelzen. Anschließend wurde die Erde von einem glutheißen Wind und einem Feuerregen überzogen, der Bäume in Fackeln verwandelte (S. 126).

Eine 50 m hohe Flutwelle (manche sagen 4 km hohe) zog eine Schneise der Verwüstung über 100 km ins Landesinnere hinein.

Zusammen mit dem Staub stürzten die dadurch entstandenen Schwefeldioxidwolken „die Welt in einen jahrelangen Winter.“ (S. 127) Der aus diesen Wolken strömende Regen hatte zudem die verbliebenen Pflanzen abgetötet und alle Riffe zur Auflösung gebracht (S. 127).

Die Dinos waren da schon alle verschwunden. „Der Krater, der zurückblieb, hatte einen Durchmesser von 160 Kilometern.“ (S. 127)

„Doch das Leben erholte sich auch diesmal wieder. Obgleich drei Viertel aller Spezies ausgerottet waren, kehrte das Leben schon bald zurück ... Nur 30.000 Jahre später war der unterseeische Katastrophenort schon wieder von Plankton besiedelt.“ (S. 127)

Die Erben dieser Welt waren „jene entfernten Nachfahren der Therapsiden, die, wie die Dinosaurier, einen schnellen Stoffwechsel entwickelt hatten, ihn aber völlig anders nutzten. Es waren die Säugetiere“ (S. 127), die aus dem Dunkeln hervorkrochen, in das sie sich seit dem Trias verkochen hatten.

Die sagenhaften Säugetiere

„Wenn Geräusch das Trommelfell zum Schwingen bringen, werden diese Schwingungen durch den Steigbügel ins Innenohr geleitet. Auf diese Weise hören Amphibien, Reptilien und Vögel bis heute.“ (S. 131) Aber so kann man keine Geräusche mit hohen Frequenzen wahrnehmen (S. 131).

Säuger hören anders (S. 131). Zwischen Steigbügel und Trommelfell haben sich noch zwei weitere Knochen gezwängt: der Hammer und der Ambos, der den Hammer mit dem Steigbügel verbindet. (S. 131) Das alles wirkt wie ein Verstärker. Macht die Ohren auch für höhere Frequenzen empfänglich. Wir können Töne bis 20kHz Höhe aufnehmen, Delphine gar 120 kHz, Katzen 85 kHz (S. 131).

Aber wo kamen Hammer und Ambos her?

„Als sich die Therapsiden zu Säugetieren entwickelten und dabei immer kleiner und pelziger wurden – von der Größe großer Hunde zu der von Schoßhündchen, zu Katzen, zu Wiesel, zu Mäusen bis zu der von Feldmäusen schrumpften -, da veränderte sich auch ihr Kiefer.“ (S. 154) Der Dentale schob dabei die anderen Kieferknochen immer weiter zurück, bis sie einverleibt oder in eine Nische „ganz hinten im Schädel neben dem Steigbügel“ gezwängt waren (S. 134). So wurden sie vom Steigbügel „als Gehörknochen rekrutiert“ und so zu Hammer und Ambos. (S. 134) Und so erhielten die Säuger eine Hörempfindlichkeit, „wie sie kein Landwirbeltier vor ihnen besessen hatte.“ (S. 135)

Bei Säugern gibt es vier Grundtypen von Zähnen: Schneidzähne, Eckzähne, Vormahlzähne sowie ganz hinten die Mahlzähne (S. 136). Auch typisch: Säuger haben nur noch im Brustbereich Rippen.

Zudem hatte sich eine fast ganz vom Mundbereich getrennte Nasenhöhle herausgebildet. So können sie kauen und zugleich atmen.

Fazit: Das Bild eines „aktiven Tieres mit einem rasend schnellen Stoffwechsel“ (S. 137). Statt sich eines weitläufigen Systems aus Luftsäcken zu bedienen, pumpt das Zwerchfell Luft in den Körper hinein und wieder hinaus. Fell als Wärmedämmung, statt Nahrung als Ganze zu

verschlingen und zu verdauen, benutzte es verschiedene Zähne, um die Beute noch im Maul zu zerteilen (S. 137).

Bis zur Obertrias waren „Tiere auf der Bildfläche erschienen, die sich in allen wesentlichen Merkmalen kaum von heutigen Säugern unterscheiden.“ (S. 137)

Und sie waren winzig, nicht größer als heutige Spitzmäuse, höchstens 10 cm lang.

Schneller Stoffwechsel, angetrieben durch ergiebiges, gleichzeitiges Kauen und Atmen, unbeirrte Neigung zu immer geringerer Körpergröße, was ein messerscharfes Hochfrequenzgehör zur Folge hatte und die Angewohnheit, sich in Erdhöhlen zu verstecken, ermöglichte, sich die Nacht zu erobern (S. 139).

Das lag u.a. an Pangäa, was größtenteils aus Wüste bestand, mit lebensfeindlichen Temperaturen. Über der Erde und bei Tag herrschten die Reptilien, „Die Nacht aber gehörte den Säugetieren, und so sollte es auch für die nächsten 150 Millionen Jahre bleiben.“ (S. 139)

Zwar schlüpfen die ersten Säuger auch noch aus Eiern. Aber eine grundsätzliche Veränderung betraf ihr Gehirn: sie wurden größer (S. 140) Die Tierjungen hatten deshalb die für heutige Junge typische Gestalt – im Vergleich zum Körper große Köpfe, „voll mit einem rasch wachsenden Gehirn.“ (S. 140) Das brauchte aber viel Energie. „Anstatt Unmengen von Eiern zu legen, brachten Säugetiere zunehmend kleinere Gelege hervor und widmeten der Aufzucht jedes einzelnen Jungen mehr Zeit.“ (S. 140)

„Das Problem war, dass zu jener Zeit, als die Säugetiere imstande gewesen wären, aus der Rolle des kleinen nachtaktiven Insekten- und Aasfressers herauszuwachsen, schon die Dinosaurier die Herrschaft übernommen und alle verfügbaren ökologischen Nischen besetzt hatten.“ (S. 141)

In der Ära der Dinos entwickelten sich mindestens 25 verschiedene Säugergruppen. (S. 141) Manche wurden so groß wie heutige Dachse. Groß genug, um Dino-Eier und Dino-Junge zu stehlen. (S. 141)

Als die Dinos ausstarben überlebten nur 4 dieser 25 Säugerarten: Kloakentiere, Beuteltiere, Plazentatiere und Multituberkulaten. (S. 142)

Die meisten Säuger gaben das Eierlegen vollständig auf und ließen eine kleinere Anzahl von Jungen im Körperinneren heranreifen.

Die Embryos von Säugern sind von denselben Membranen umgeben, wie die anderer Tiere im Amnion – nur ohne die Schale. Die Mutter selbst hat hier diese Rolle übernommen.

Eine etwas andere Strategie wählten die Beuteltiere. Ihre Geschichte ist wohl ebenso alt wie die der Plazentatiere. Besonders gut gediehen sie auf „abgeschiedenen Inselkontinenten“ (S. 143). Die meisten von ihnen leben heute in Australien.

Je mehr das Paläozän dauerte und ins Eozän übergang, desto mehr heizte sich die Erde auf: Aus angenehmer Wärme wurde sengende Hitze“ (S. 145).

Erste kleine Huftiere traten auf. Sie glichen eher Eichhörnchen. „Einige der ersten Paarhufer flohen in die unwahrscheinlichste aller Richtungen – sie kehrten ins Meer zurück und wurden Wale.“ (S. 146)

Wale nahmen dann den Platz der riesigen Meeresechsen ein – eine Nische, die seit dem Aussterben der Plesiosaurier und Mosasaurier am Ende der Kreide vakant war. (S. 146) Sie machten das in der atemberaubenden Geschwindigkeit von nur 8 Mio. Jahren (S. 147).

Die Abspaltung Afrikas von Südamerika während der Kreidezeit macht Afrika zu einem Inselkontinent, der nahezu 40 Mio. Jahre von allen anderen isoliert war.“ Was zu einer vielfältigen Sonderentwicklung der Fauna führte (S. 147)

Und auch bei den Säugern gab es eine Gruppe, die nirgendwo hineinpasst. Es war/ist die Gruppe der zähen kleinen Kämpfer, u denen Ratten, Mäuse, Kaninchen und als eine Art Anhängsel auch die Primaten zählen (S. 147) Diese umtriebigen Geschöpfe mit nach vorne gerichteten Augen, Farbsicht, großen aufnahmefähigen Gehirnen und Händen, die alles um sie her erforschen wollten, lugten neugierig durch das Blätterwerk der sich rasch wandelnden Welt (S. 147).

Im Norden und Süden wanderten Kontinente an die Pole. In beiden Fällen bildeten sich die vereisten Polkappen. (S. 151) „nach vielen Jahrillionen ohne Polareis hatte die Erde nun wieder dauerhafte Eiskappen.“ (S. 151) In der Folge entstand ein „steiles Temperaturgefälle zwischen den Polen und den Tropen. Der Wind frischte auf. Das Klima wurde wechselhafter, saisonaler, kühler. Das bedeutete das Ende für jenen Dschungelplaneten, auf dem die ersten Primaten zu Hause waren.“ (S. 151)

Die großen Urwälder zerfielen in vereinzelte Waldgebiete. Dazwischen entstanden weite Ebenen, wo sich eine neuartige Pflanzenart verbreitete: Gras (S. 151) Es ließ sich ständig abgrasen, ohne zu sterben. Viele Tiere passten sich dem in ihrer Ernährung an. Gras ist aber beschwerlicher als das Pflücken von Blättern und Pflanzen: z.B. ist es reich an Silizium, was die Zähne eines Tieres beim Kauen abschmirgelt (S. 152).

So entwickelten die Huftiere – einst laubfressende Waldbewohner, längere Kiefer mit mehrhöckrigen Zähnen, damit sie diese grobe Nahrung abweiden und fressen konnten. Sie wurden immer größer.

Auch die Primaten passten sich an. Einige von ihnen kamen immer öfter von den Bäumen herunter und verbrachten Zeit auf dem Erdboden. Wie die Huftiere wurden auch sie immer größer. Aus umher huschenden Äffchen wurden „imposante Gruppen großer Affen.“ (S. 152)

„Bis zum Miozän hatte sich die Alte Welt in einen Planeten der Affen verwandelt.“ (S. 152) Im heutigen Griechenland dominierte *Ouranopithecus*, während *Ankarapithecus* die heutige Türkei bewohnte. *Dryopithecus* siedelte in Mitteleuropa.“ (S. 152)

Einige von ihnen – wie etwa der mitteleuropäische Danuvius - gewöhnten sich eine zunehmend aufrechte Haltung an (S. 153). Das war nicht immer erfolgreich. *Oreopithecus* z.B. starb trotzdem aus.

Die Erde wurde immer kühler. Die Affen, die nicht in die tiefen Wälder Afrikas und Asiens zurückkehren standen vor einer bitteren Entscheidung: „Vertreiben aus dem Garten Eden oder Aussterben“ (S. 154)

Vor 7 Mio. Jahren waren einige von ihnen im Laufen schon besser als im Klettern. „Das sich abkühlende Klima hatte aus kleinen Urwaldäffchen Menschenaffen gemacht“ (S. 154). Der gewohnheitsmäßige aufrechte Gang gilt als „frühestes Merkmal der *Homini* – der Abstammungslinie des Menschen.“ (S. 154) Die ersten von ihnen erschienen vor rd. 7 Mio. Jahren. Und wie fast alle Neuerungen in der menschlichen Frühgeschichte, so entstand auch der aufrechte Gang in Afrika (S. 155). „Er erforderte eine komplette Umstrukturierung des gesamten Körpers.“ (S. 155)

Im Kopf wanderte die Öffnung, an der das Rückenmark in den Schädel eintritt, von der Rückseite zur Unterseite. Es bedeutet, dass das Gesicht nach vorne zeigt, wenn man auf den Hinterbeinen geht, und nicht gen Himmel und dass der Schädel fest auf der Wirbelsäule aufsitzt, anstatt nur an einer Seite freitragend daran anzuschließen (S. 155).

Ebenso gravierend die Auswirkungen auf die Wirbelsäule: als sie sich vor 1/2 Mrd. Jahren entwickelte, war sie horizontal und stand nun unter Spannung. Bei den *Homini* wurde sie um 90 Grad gedreht und stand nun unter Druck (S. 155).

Die Wirbelsäule hat sich aber seit ihrer Entstehung vor 500 Mio. Jahren nicht grundlegend weiterentwickelt. So war sie an die neuen Anforderungen nur unzureichend angepasst – „ein Grund, weshalb Rückenprobleme heute zu den häufigsten und kostspieligsten Krankheitsursachen des Menschen zählen.“ (S. 156)

Und für trüchtige Weibchen stellte die neue Körperhaltung noch größere Probleme dar. Und noch schlimmer: Die Beine der *Homini* waren im Verhältnis zu ihrer Gesamtgröße länger als bei Menschenaffen. „Längere Beine machen die Fortbewegung effizienter.“ Aber. Der Fötus befindet sich nun höher über dem Boden als sonst, wodurch sich der Masseschwerpunkt weiter nach oben verlagert und die Instabilität noch steigert (S. 156).

Zudem müssen die *Homini* eine wahre Meisterleistung vollbringen: um zu Laufen, müssen sie einen Fuß vom Boden abheben, wodurch sich der Schwerpunkt massiv verschiebt, und dies rasch korrigieren, bevor sie umfallen – „und das bei jedem Schritt“ (S. 156) Gehirn, Nerven und Muskeln müssen hier perfekt zusammenarbeiten.

Die ersten *Homini* wirkten zwar mickrig, waren aber in Wahrheit „die Elitekämpfer des Tierreichs.“ Sie sind extrem wendig, wenn auch auf Kosten der Stabilität, gesteuert aber von den besten Piloten ihrer Zunft. „sie tanzten, sie stolzierten, sie wirbelten herum und drehten Pirouetten.“ (S. 157)

Aber es ist bis heute „rätselhaft“, wie es überhaupt zum Gehen auf zwei Beinen kam (S. 157).

„Der menschliche Gang ist eines der großen unterschätzten Wunder der modernen Welt.“ Noch keinem Wissenschaftler oder Techniker ist es gelungen, „einen Roboter zu entwickeln, der die natürliche Anmut und Athletik eines ganz normalen Menschen beim Gehen imitieren kann.“ (S. 157)

Aber warum kam es dazu? „Für das Leben im offenen Gelände ist es gewiss nicht nötig. „ Viele große Affen sind in diesem Lebensraum zu Hause und bleiben dennoch mit allen vieren fest am Boden (S. 158). Aber sie blieben zunächst gute Kletterer. Noch vor 3,4 Mio. Jahren schwangen sich baumbewohnende Homini „immer noch von Ast zu Ast.“ (S. 159) Der beste Geher war damals wohl australopithecus afarensis, der so aufrecht ging wie wir heute.

Vor ca. 3,5 Mio. Jahren fanden die Homini Geschmack an Fleisch- zumeist Aas. „Keiner unserer frühen Vorfahren besaß Zähne oder Klauen, die denen von Löwen oder Leoparden ebenbürtig gewesen wären.“ (S. 161)

Doch sie hatten begonnen Steinwerkzeuge zu benutzen. „Mit ihrem messerscharfen Sehvermögen – einem Erbe ihrer baumbewohnenden Vorfahren aus dem Eozän – und Händen, die von den Pflichten schierer Fortbewegung befreit waren, konnten sie nun Steine werfen, um aasfressenden Löwen die Schädel zu zertrümmern“ (S. 161).

Außerdem lernten sie zu rennen.

Nach 50 Mio. Jahren erreichte die Talfahrt des Weltklimas ihren Tiefpunkt. Das Klima änderte sich weiter, weil die Erde durch ihre elliptische Bahn nicht immer im selben Abstand zu Sonne bleibt. (S. 164) Mal ist sie näher, mal weiter von der Sonne entfernt. Hintergrund sind die wechselseitigen Gravitationskräfte zwischen Erde und andern Himmelskörpern bei deren Umlauf um die Sonne (S. 164).

Bei ihrer dichtesten Annäherung ist die Erde 147 Mio. km von der Sonne entfernt. Am entferntesten 152 Mio. km. Manchmal jedoch kommt sie der Sonne 129 Mio. km nahe, manchmal ist sie 187 Mio. km entfernt. Jeder dieser „Atemzüge“ dauert 100000 Jahre.

Zugleich taumelt die Neigung der Erdachse in Bezug auf ihre Rotationsebene zur Sonne hin und her. (S. 165) Folgen der geneigten Erdachse: die Jahreszeiten und die Unterteilung des Planeten in „gürtelförmige Klimazonen“ (S. 165).

Dann gibt es da noch den sog. Präzisionszyklus, der ca. 26000 Jahre dauert. All das bedeutet, dass die Erde ca. alle 100000 Jahre eine Kältewelle erlebt (S. 166).

Weit wichtiger waren für die Lebewesen auf der Erde oft Ereignisse auf der Erde selbst: z.B. das Verschmelzen oder Auseinanderbrechen von Kontinenten und die damit einhergehende Störung des Gleichgewichts in den Meeren und der Atmosphäre (S. 167)

Vor 2,5 Mio. Jahren verstärkte sich der Einfluss der himmlischen Gestirne auf die Begebenheiten auf dem Boden (S. 167).

„Kosmische Abläufe und die Kontinentalverschiebung arbeiteten also Hand in Hand und sorgten für eine Abfolge von Eiszeiten auf unserem Planeten. Sie begannen eher mild, wurden im Allgemeinen aber immer heftiger – ein Prozess, der bis zum heutigen Tag anhält. Jeder dieser Eiszeiten dauert rund 100000 Jahre, jeweils unterbrochen durch kürzere Warmzeiten von 10000 bis 20000 Jahren, in denen das Klima sehr mild ... werden kann.“ (S. 167)

„Der Kältehöhepunkt der letzten Eiszeit war vor 26000 Jahren.“ (S. 167) Der überwiegende Teil Nordwesteuropas lag unter dem Skandinavischen Eisschild. Die gletscherfreie Nordhälfte bestand meist aus einer Mischung aus Trockensteppe und Tundra, alles baumlos. Das Eis musste irgendwo herkommen, darum lag der Meeresspiegel 120 Meter niedriger als heute. Zurzeit befinden wir uns einer seit 10.000 Jahren andauernden Warmzeit.

Die Klimaschwankungen kamen abrupt: GB lag vor 500000 Jahren unter einer kilometerdicken Eisschicht. Vor 125000 Jahren war es dort so warm, dass Löwen am Themse-Ufer Hirsche jagten und sich im nordenglischen Fluss Tees Nilpferde suhlten. Vor 45000 Jahren bestand GB aus einer baumlosen Steppe, in der im Winter Rentiere und im Sommer Bisons grasten. Vor 26.000 Jahren war es hier auch für Rentiere zu kalt. (S. 168)

Der Hauptgrund, warum es in GB heute so milde Temperaturen gibt: es wird von einer warmen Meeresströmung umspült.

Schwimmendes Eis hat in der Regel weniger Salz als das Meer. Als es wärmer wurde und die Eisberge schmolzen flossen riesige Mengen kalten Süßwassers ins Meer, was den Tiefenwärmestrom immer wieder abkühlte und zu einer Reihe kurzer Kälteeinbrüche während der allgemeinen Erwärmung erfolgte (S. 170).

All das zeigt; Klimaveränderungen können „erstaunlich schnell gehen“. „Am Ende der letzten Kaltzeit, vor rund 10000 Jahren, wandelte sich das Klima im Zeitraum eines Menschenlebens von subarktisch zu gemäßigt.“ (S. 170)

Auch für die Homini in Afrika wurde es vor 2,5 Mio. J. problematischer: Das Klima, ohnehin schon trocken, wurde immer trockener. (S. 170) Die Wälder dörrten aus und Beutetiere wurden seltener und scheuer.

Viele von diesen Homini verschwanden deshalb von der Bildfläche. Ein neuer Homini trat auf.

Er stand aufrechter, war schlauer und hatte den zweibeinigen Gang perfektioniert. Er wurde „zu einem Raubtier der Savanne“: Homo erectus (S. 171) Völlig neuartiger Körperbau: größer, aufrechter, längere Biene, schmalere Hüften, Arme proportional kürzer – Klettern spielte für ihn wohl keine Rolle mehr. Er war der erste, der sich ausschließlich auf das Leben auf zwei Beinen einließ (S. 171).

Aufgrund seines kleineren Darms hatte er auch eine „stärker ausgeprägte Taille als seine gedrungeneren, dickbäuchigen Vorfahren.“ (S. 172)

Und der Rumpf ließ sich im Verhältnis zu den Beinen leichter drehen, da seine Hüften höher und schmaler waren. Zudem hielt er den Kopf höher und hatte einen klar definierbaren Hals. Das alles führte dazu, dass er etwas ganz Neues konnte: rennen (S. 172). „Dabei schwingt er seine Arme entgegengesetzt zu den weit ausschreitenden Beinen, während Augen und Kopf nach vorne gerichtet waren, stets in Richtung seines Ziels.“ (S. 172)

Er war so ein guter Langstreckenläufer, konnte Beutetiere „kilometerweit und stundenlang verfolgen“ (S. 172) Er hatte zudem kein Fell mehr, stattdessen Schweißdrüsen, wodurch der Körper sich durch Verdunstung kühlen konnte. Was Felltiere nicht können. (S. 172)

Zudem musste er in Gruppen zusammenarbeiten. (S. 173) Zudem war er wie viele Räuber ein soziales Wesen mit den dafür typischen Verhaltensweisen: sex. Imponiergehabe, extreme Gewalt und Kochen (S. 173). Denn irgendwann lernte He den Umgang mit Feuer (S. 173).

„Die Stämme, die Feuern nutzten, lebten länger und gesünder und brachten mehr Nachkommen hervor als jene, die es nicht taten. So starben diese aus. (S. 173)

Primaten neigen mehr als alle anderen Säugetiere zu aggressiver Gewalt und sogar Mord. Und Homini sind die mörderischsten von allen. Doch sind sie ebenso gute Liebhaber wie Kämpfer.“ (S. 173)

Durch die aufrechte Körperhaltung und die spärliche Behaarung werden nun auch die Sexualorgane sichtbar. Das könnte erklären, warum Menschen im Vergleich zu ihrer Körpermasse viel größere Penisse haben als andere Menschenaffen. Gleiches könnte für die Brüste der Frauen gelten. Bei Menschen stehen sie permanent hervor, bei anderen Säugern bilden sie sich nach der Stillzeit zurück.

Zudem sind bei anderen Primaten die äußeren Genitalien des Weibchens während des Östrus so angeschwollen, dass man die Empfängnisbereitschaft sofort sieht. „Beim Menschen dagegen bleibt der Fortpflanzungsstatus der Frau derart verborgen, dass sie häufig selbst nichts davon weiß.“ (S. 174)

Zudem paaren sich Menschen lieber im Verborgenen, hier gibt es keine Paarungszeit wie bei anderen Säugern, wo die Paare in der Öffentlichkeit kopulieren. (s. 174)

Zudem gehen menschliche Paare in der Regel lange Bindungen ein weisen relativ geringe körperliche Unterschiede auf. „Bei Tierarten, bei denen in Männchen eine größere Gruppe Weibchen für sich vereinnahmen, sind Männchen viel größer und kräftiger als Weibchen.“ Z.B. bei den Gorillas (S. 175).

Der Grund für all das liegt wohl darin, dass wir Menschen wir „Menschen doch viel mehr zum Fremdgehen neigen, als allgemein angenommen wird.“ (S. 176)

„Die Zusammenarbeit zwischen den Familien wird dadurch begünstigt, dass niemand in der Gruppe völlig sicher sein kann, welches Kind von welchem Vater stammt. Dieser Zusammenhalt überträgt sich auch auf die Kameradschaft der Männer in der Jagdgemeinschaft.“ (S. 176) Sie jagen nicht für die eigenen Familie, sondern für den ganzen Stamm.

„In vielerlei Hinsicht ähneln die sozialen und sexuellen Gepflogenheiten des Menschen mehr denen der Vögel als denen anderer Primaten. ... Viele Vogelarten gehen Paarbindungen ein, die nach außen hin stabil wirken, obgleich die Weibchen sich nicht selten heimlich mit anderen Männchen paaren, wenn ihr offizieller Partner auf der Jagd ist.“ (S. 176) Die Männchen können sich nie sicher sein, welche Nachkommen, wirklich die eigenen sind. Da arbeiten sie lieber gleich mit anderen Männern zusammen. Weibliche Untreue „stiftet so letztlich Männerfreundschaften“ und hält die Gemeinschaft im Ganzen zusammen (S. 177).

Homo e. sah fast so aus wie wir. Aber: in seinen Augen blitzte die Gerissenheit eines „Raubtiers“ (S. 177). Seine Jungen wuchsen „rasend schnell vom Säuglingsalter zur Geschlechtsreife heran“, Ohne die Phase der Kindheit zu kennen. Wenn sie starben, ließen

sie Leichen einfach liegen. Homo e. hatte keine Vorstellung vom Jenseits. Auch erzählten sie sich keine Geschichten über ihre Geschichte.

Trotzdem produzierte er die schönsten Artefakte: genial geschlagene Faustkeile z.B. (S. 177). Homo e. schufen sie so achtlos, wie Vögel ihre Nester bauen. Seltsam auch: bis heute ist unklar, „wozu Faustkeile tatsächlich verwendet wurden.“ Als Hack- und Schneidewerkzeug sind sie zu groß als bloßer Wurfstein zu aufwendig erzeugt.

Homo e. war auf jeden Fall Eine Antwort der Evolution auf die „plötzliche Klimaveränderung vor rund 2,5 Millionen Jahren.“ Anders als seine Homini-Verwandten begann er, weiter umherzustreifen um auf der immer unwirtlicheren Erde zu überleben. So war er der erste Hominin, der Afrika verließ (S. 180).

„Der Klimawandel hatte die Wälder so weit schrumpfen lassen, dass sich die Savanne nahtlos über Afrika, den Nahen Osten bis nach zentral- und Ostasien hinzog. Riesige Herden von Beutetieren“ streiften hier umher. Vor 1,7 Mio. Jahren hatten die Herden ihn bis nach China geführt. (S. 180)

Und bereits vor 1,5 Mio. Jahren besiedelte *Homo e.* die Inselwelt Südostasiens. „Der Meeresspiegel stand so niedrig, dass ein Großteil dieser Gegend Festland war. Die vielen Inseln, die wir heute kennen, sind halb versunkenen Überreste einer einst viel weitläufigeren Landmasse ... Gut möglich, dass sie sogar lange genug durchhielten, um die Ankunft ihrer Nachfahren in der Region noch mitzuerleben – der modernen Menschen.“ (S. 180f.)

Durch den steigenden Meeresspiegel vom Festland abgetrennt, schlugen einige von ihnen zum Teil skurrile evolutionäre Sonderwege ein.

Sie wurden kleiner und stiegen wieder auf die Bäume, als der Urwald auf die Inselwelt zurückkehrte und dort lebten sie bis vor mind. 50000 Jahren. „Als die ersten modernen Menschen eintrafen, müssen diese so untypischen Nachfahren afrikanischer Savannenjäger mit Unglauben und Entsetzen auf die Eindringlinge hinabgeschaut haben.“ (S. 181) Auch auf einer anderen pazifischen Insel wurden die h.e.-Homini immer kleiner (1 m) bis sie vor 50000 Jahren ausstarben. (S. 183)

Dass Arten auf Inseln oft merkwürdige Größenveränderungen annehmen, ist nicht ungewöhnlich: kleine werden oft größer, große kleiner. Einige Ratten wurden groß wie Terrier (S. 183).

Homo heidelbergensis etwas später in Europa dagegen war „eine eindrucksvolle Erscheinung“ (S. 185). Seine Jagdspeere ähnelten Zaunpfählen. Auch anderswo in der Welt stapften Homini durch die Welt, die so groß wie die heute größte Menschen waren.

Die Neandertaler waren in den kalten Einöden Nordeuropas 300000 Jahre „praktisch konkurrenzlos. Sie lebten im Einklang mit der Natur, und ihre Kultur veränderte sich in diesem Zeitraum kaum.“ (S. 186) Aber mit ihren großen Hirnen waren sie nachdenklich, bestattet ihre Toten, und bauten in Höhlen kreisförmige Skulpturen.

Sie sind auch kaum weiter umhergezogen. Sie wagten sich nur zur Nahrungssuche hinaus ins Freie und „kultivierten ... ihr reges Geistleben unter der Erde.“ (S. 187)

Ein Abkomme des Neandertalers setzte sich vor ca. 300000 J. in den Kopf, im Hochland Tibets „auf dem Dach der Welt“ zu leben. Sie wurden zu Denisova-Menschen, die an die Yetis erinnern (S. 187), die Tausend Jahre später diese Hochebene bewohnten.

Vor 500000 Jahren gab es auf der Erde eine ganze Riehe verschiedener Menschenarten: Neandertaler in Europa und Asien, Denisova-Menschen, Homo e. auf Java. Und doch sollten all diese Experimente menschlichen Lebesns alle ausgelöscht werden. „Am Ende der Eiszeit war nur noch eine Art der Homini übrig“, die ebenfalls aus Afrika stammte. (S. 187)

11 Das Ende der Vorgeschichte

„Vor rund 700000 Jahren dauerten Kaltzeiten sehr viel länger al die dazwischen liegenden Warmzeiten, die man auch Interglaziale nennt. Die Erde befand sich nun nahezu dauerhaft in einem Zustand der Vergletscherung. Die Interglaziale waren drastisch, heiß und kurz.

Das Leben gedieh. “ (S. 190) „Im Frühjahr und Sommer zogen Bisonherden über das Land, so gewaltig, dass es Tage gedauert hätte, die Millionen von Tieren vorbeiziehen zu sehen.“ (S. 190) Dazu Pferde und riesige Hirsche – das zog Fleischfresser an – Löwen, Säbelzahnkatzen und auch die Nachfahren von homo e. (S. 190)

„Die Hominini reagierten auf die sich verschärfende Eiszeit mit größeren Gehirnen und mehr Fettreserven“ (S. 190). Das ist selten, da größere Hirne zumeist mit weniger Fett einhergehen.

Unterschiede zwischen den Geschlechtern: Körper eines erwachsenen Mannes enthält im D 16% Fett im Verhältnis zur Körpermasse, der der Frau 23% (S. 191). Wichtig für Fruchtbarkeit und Schwangerschaft in Mangelzeiten.

„Dementsprechend begünstigen die Mechanismen der natürlichen Auslese auch mollige Frauen mit üppigen Kurven, da diese die besten Aussichten auf Fortpflanzung boten.“ (S. 191)

Große Hine bedeuten aber auch große Köpfe mit entsprechenden Problemen bei der Geburt. Menschliche Säuglinge müssen deshalb früh raus, sonst wäre ihr Kopf zu groß, um den Geburtskanal zu durchqueren. (S. 192)

„Eine Spezies, bei der werdende Mütter sich in Lebensgefahr begeben, um hilflose Junge zur Welt zu bringen, die - ... – lange Jahre steter Fürsorge benötigen, muss mit großer Wsk. früher oder später aussterben.“

Die evolutionäre Lösung war die „Menopause“ (S. 192). Sie ist nur dem Menschen eigen. Im übrigen Tierreich muss jedes Lebewesen, das zu alt ist, um sich fortzupflanzen, „schnell vergreisen und sterben.“ (S. 192) Beim Menschen dagegen können Frauen noch viele Jahre weiterleben „und letztlich mehr Kinder aufziehen.“ (S. 192) So ging die Vergrößerung des Gehirns und der entsprechenden Hilflosigkeit der Säuglinge einher mit „mit dem Aufkommen von Großmüttern“ (S. 192), die ihre Töchter beim Großziehen der Enkelkinder uterstützten.

„Indem sie die Fortpflanzung im mittleren Alter einstellten, *steigerten* Menschenfrauen ihre Reproduktionsleistung sogar – und sie lebten länger. Die Vergrößerung des Gehirns führte zu einer erhöhten Lebenserwartung, von Mitte 20 bei *Homo erectus* bis Mitte 40 bei Neandertalern und modernen Menschen.“ (S. 193) Auch die Männer lebten länger. Das führte bei den Homini zur Entstehung einer neuen sozialen Schicht: den Alten (S. 193), die –

vor Erfindung der Schrift – Wissen weitergeben konnten. Der Mensch ist wohl das einzige Wesen, das nicht nur lernt, sondern auch lehrt (S. 194) „Die Alten machten dies möglich.“ (S. 194)

„Während es in Euroasien immer kälter wurde, wurde es in Afrika immer trockener.“ (S. 195) Die frühen Menschen passten sich in ihrem Stoffwechsel dem unwirtlichen Klima an: „Sie konnten viele Tage ohne Nahrung auskommen, doch wenn sie Beute machten, stopften sie sich bis an die Schmerzgrenze voll, so lange, bis sie sich nicht mehr rühren konnten.“ So als wäre jede Mahlzeit ihre letzte (S. 195).

Vor 300000 Jahren dann, als in Europa die ersten Neandertaler rumliefen, trat in Afrika eine neue Art von Homini ins Rampenlicht: *Homo sapiens*, der schon den ganzen Kontinent durchstreifte (S. 195). Allein: In den ersten 98% seiner Existenz auf Erden „glich die Geschichte des *Homo sapiens* einer herzerreißenden Tragödie, die wenige Mitwirkende überlebten.“ (S. 196) Unsere Spezies wäre um ein Haar ausgestorben, reicherte seinen Gen-Pool aber mit der DNA von anderen Homini an (S. 196).

Schon bald nach seinem Auftreten durchstreifte Hs Gebiete jenseits seiner Heimat Afrika, vor ca. 2000000 Jahren ging mal nach Südeuropa. Das waren aber folgenlose Ausflüge (S. 196): zu kühl im Norden für diese tropische Spezies. (S. 196)

Aber auch in Afrika verschlechterten sich die Lebensbedingungen mit den fortschreitenden Eiszeiten. Der Lebensraum von Hs schrumpfte „zu einer kleinen Oase am Nordwestrand der heutigen Kalahari-Wüste, östlich des Okavango-Deltas.“ (S. 197)

Zu Beginn der Eiszeit war die Region noch grün und üppig, bewässert vom Makgadikgadi-See.

„Wie ein hässliches Entlein verbarg sich Hs 70000 Jahre in den Makgadikgadi-Sümpfen. Aber als er wieder hervorkam, hatte er sich in einen Schwan verwandelt.“ (S. 197) Das Bild vom Garten Eden stammt wohl daher.

Vor 130000 Jahren schien die Sonne wieder heller und es wurde wärmer. Tropische Landschaften entstanden – auch in Europa, wo Löwen auf dem Londoner Trafalgar Square herumtollten und in Cambridge Elefanten grasten (S. 198).

Homo s folgte seinen Beutetieren und zog darauf hinaus in die Welt – rechtzeitig bevor der Makgadikgadi-See austrocknete. Heute ist er eine Salzwüste (S. 198). Im Süden Afrikas wurde *Homo s.* dann zum Fischer und sesshaft. (S. 199) Zudem fing er an, sich Ketten aus Muschelperlen zu schmücken, Steine sorgfältiger zu bearbeiten und Fernwaffen zu entwickeln (s. 199).

Andere Exilanten aus dem Garten Eden brachen nach Norden auf. Ihnen schlossen sich bald Auswanderer aus dem Süden mit ihren Muschelketten und feinen Techniken an. In Ostafrika entwickelte sich die Spezies zu einer echten Population (S. 200). Vor 110.000 Jahren hatten sie sich über ganz Afrika ausgebreitet und „unternahmen wieder erste Schritte jenseits ihrer Heimat.“ Dieses Mal, um zu bleiben. (S. 200)

Vor 74.000 brach auf Sumatra ein Super Vulkan aus und führte zu einer Katastrophe, „wie die Welt sie seit Jahrmillionen nicht mehr erlebt hatte.“ (S. 200)

Die Asche in der Atmosphäre stürzte die Erde in eine „abrupte Eiszeit“ (S. 201). Homo s. war aber trotzdem nicht mehr zu stoppen, er war schon längst bis nach Südchina vorgedrungen und hatte es gelernt, den Feuerstein zu nutzen (S. 201).

Die ersten Auswanderer aus Afrika folgten zunächst immer den Küstenlinien. Und wenn das Klima es zuließ, zogen sie an Flussläufen entlang ins Landesinnere (S. 201). Es war aber keine große Auswanderung, eher viele kleine Reisen (S. 202), die erst in der Gesamtschau ein Muster ergeben: Sie pulsierten „im Takt der Klimaschwankungen, bedingt durch die Umlaufzyklen der Erde und insbesondere durch den 21000-Jahres-Zyklus der Präzession.“ (S. 202)

Besonders reisefreudig war unsere Art zwischen 106.000 und 94.000 Jahren vor unserer Zeit, als sie sich über das einst fruchtbare Südarabien ausbreitete, vor 89.000 bis 73.000 Jahren, als sie die Inseln Südostasiens erreichte, vor 59.000 bis 47.000 Jahren, in denen auch Australien besiedelt wurde, sowie schließlich vor 45.000 bis 29.000 Jahren, als Europa großflächig besiedelt wurde - mit ersten zaghaften Vorstößen nach Amerika und „einer gewissen Rückwanderung nach Afrika“ (S. 202).

In diesen Zeiten begünstigte das milde Klima die Migration.

Auf ihren Wanderungen trafen die ersten Menschen auch auf andere Homini (S. 203). Manchmal tauschten sie Partner aus und kreuzten sich mit ihnen. Deshalb weisen heutige Menschen, die nicht rein afrikanischer Abstammung sind, Neandertaler-DNA in sich auf, in Südostasien kam dann auch was aus dem Genpool der Denisova-Menschen hinzu.

Ironie des Schicksals: die Gene, die es heutigen Tibetern gestatten, mühelos in der dünnen Luft auf dem Dach der Welt zu leben, sind ein Abschiedsgeschenk jener Gipfelbewohner, die als eigenständige Art vor 30.000 Jahren verschwunden sind.

Vor 45.000 Jahren fielen moderne Menschen an mehreren Fronten in Mitteleuropa ein und führten wohl zum Niedergang der Neandertaler, die 250.000 Jahre die dominante Spezies in Europa waren. Vor 40.000 Jahren waren sie dann so gut wie ausgestorben. (S. 204) Über die Gründe wird heute heftig diskutiert. Aber sie vermischten sich auch mit den Eindringlingen: ein 40000 alter Kieferknochen aus Rumänien beweist, „dass sein Besitzer einen Neandertaler-Urgroßvater hatte.“ (S. 204)

„Nach 4,5 Milliarden Jahren gedankenlosen Wirrsals hatte der Planet letztlich eine Spezies hervorgebracht, die sich ihre selbst bewusst war.“ (S. 205)

Massensterben gab es schon immer. Besonders dramatisch war das am Ende des Perms – verursacht wohl durch das Emporquellen von Lava in Sibirien, das Gase freisetzte, die die Luft und Meere vergifteten (S. 209). Näher liegt das Massensterben vor ca. 10.000 Jahren - verursacht wohl durch die vielen Klimaschwankungen in dieser Zeit. (S. 209)

Nicht selten war es der Mensch, der zum Aussterben von Arten beitrug: „Ohne uns Menschen würden wohl noch heute Herden von Auerochsen durch die Steppe ziehen.“ (S. 211) Anders beim Nashorn, das seine Blütezeit im Oligozän hatte. Die Menschen haben sein Ende nur beschleunigt (S. 211).

„Seit 2,5 Millionen Jahren steht die Erde am Beginn einer Abfolge von Eiszeiten, die noch etliche Jahrtausende andauern wird. Schon jetzt ist das Eis mehr als 20-mal angewachsen und wieder abgeschmolzen und hat damit klimatische Umwälzungen ausgelöst, wie die Welt sie seit dem Eozän nicht mehr erlebt hat.“ (S. 211)

„Und es wird noch fast 100 weitere Kaltzeit-Warmzeit-Zyklen geben, bevor das derzeitige Eiszeitalter zu Ende geht.“ (S. 211)

Homo s. hat die Früchte des derzeitigen Zyklus geerntet. „Die Spezies gelangte zu Bewusstsein, als die vorherige Warmzeit vor rund 125000 Jahren in eine lange anhaltende Kältephase überging. Sie nutzte den niedrigen Meeresspiegel, um sich auszubreiten, und wanderte von einer sonst isolierten Insel zur nächsten.“ (S. 211)

Als das Eis vor 26000 Jahren seine größte Ausdehnung hatte, hatte die Menschheit schon die gesamte Alte Welt besiedelt und war der Landbrücke zu Neuen gefolgt (S. 211). Nur Madagaskar, Neuseeland, die Inseln Ozeaniens und die Antarktis waren noch menschenfrei (S. 212).

Vor rd. 23000 Jahren begannen die ersten Bäcker, Samenkörner von wildem Weizen und Getreide zu Mehl zu mahlen und daraus Brot zu backen (S. 213).

Vor 10.000 Jahren dann „entwickelte sich in verschiedenen Weltregionen mehr oder weniger gleichzeitig die Landwirtschaft.“ (S. 213)

„Den spürbarsten Einfluss auf unseren Planeten hinterlässt der Mensch erst seit der industriellen Revolution, die vor rund 300 Jahren einsetzte,“ als h.s. begann, „sich die Kraft der Kohle im industriellen Maßstab nutzbar zu machen.“ (S. 213) Dazu kam dann später das Erdöl.

„Kohle entsteht aus den energiereichen Überresten der Wälder des Karbons.“ (S. 213) Erdöl entsteht durch die allmähliche Umwandlung fossilen Planktons, wenn der durch das darüberliegende Gestein gepresst und erhitzt wird (S. 213).

Das dramatische Anwachsen der Weltbevölkerung hat sich erst in letzter Zeit entwickelt, innerhalb weniger Generationen: zu Lebzeiten des Autors hat es sich verdoppelt, seit Geburt seiner Großeltern vervierfacht.

Allein: „Der menschengemachte Ausschlag der Kohlenstoffkurve wird zwar hoch, aber äußerst schmal sein – womöglich gar so schmal, dass auf sehr lange Sicht kaum mehr nachweisbar sein wird.“ (S. 214)

„Menschen gibt es in großer Anzahl erst seit derart kurzer Zeit, dass in, sagen wir 250 Millionen Jahren kaum noch etwas von ihnen erhalten sein wird – wenn überhaupt.“ (S. 214)

„In ein paar 1000 Jahren wird *Homo sapiens* wieder verschwunden sein. Ein Grund ist seine längst fällige *extinction debt*. Der Lebensraum, den die Menschheit für sich beansprucht, umfasst nicht weniger als die gesamte Erde, und die Menschen haben sie zunehmend unbewohnbar gemacht.“ (S. 215) Hauptgrund aber: sinkende Reproduktionsrate der Bevölkerung (S. 215). 2100 werden weniger Menschen auf der Erde leben als heute.

Genetisch sind wir im Vergleich zu den Affen schon ungewöhnlich homogen. (S. 215) – „ein Erbe des mehrfachen Beinaheaussterbens der Menschheit in der Frühzeit unserer Spezies.“ (S. 215).

Die Gletscher aber werden immer wieder kommen und sich zurückziehen. Unser CO₂-Ausstoß wird das zwar verzögern, aber nicht verhindern. Im Gegenteil: Wenn der Vorstoß wieder kommt, wird er „umso schneller sein.“ (S. 215) Denn das aktuelle Kalben von Eisbergen in den Ozeanen, „wird so viel Süßwasser freisetzen, dass der versiegende Golfstrom ganz Europa und Nordamerika innerhalb nicht mal eines Menschenlebens in eine umfassende Eiszeit stürzen wird. Aber kein Mensch wird da sein, der die Kälte spürt.“ (S. 216)

„In etwa 30 Millionen Jahren wird Antarktika soweit nach Norden gedriftet sein, dass warmes Wasser vom Äquator die letzten Reste ihrer Eiskappe abbaut. Wie hoch wird der Blutzoll dieser langen Kältezeit wohl ausfallen?“ (S. 216)

„Alle Säugetiere, die größer sind als ein Dachs, werden ausgestorben sein. Auch wird es keine großen Huftiere, Elefanten, Nashörner, Löwen ... mehr geben. ... Es wird keine Primaten mehr geben.“ Homo s. wird schon lange ausgestorben sein.

In den Meeren wird es weiter Fische geben, auch Wale und Haie, „jedenfalls noch eine Weile“ (S. 217).

Im großen Maßstab bestimmt das Leben der Erde zwei Faktoren: Abnahme der CO₂-Konzentration und zunehmende Helligkeit der Sonne. Pflanzen brauchen eine CO₂-Konzentration von 150ppm (Millionstel), um daraus per Photosynthese lebende Materie zu formen. Das ist die sog. C₃-Photosynthese. Die C₄-Photosynthese kommt mit 10ppm aus. Braucht aber mehr Energie. (S. 218)

Als vor ein paar Millionen Jahren die CO₂-Konzentration abnahm wechselten die Pflanzen (die Gräser in den Savannen) auf C₄-Synthese (S. 218). „Trotz gelegentlicher Schwankungen nimmt das Kohlendioxid im Laufe der Erdgeschichte stetig ab.“

Wieso aber wurde CO₂ so knapp. Wegen der Verwitterung. Erodierendes Gestein entzieht der Atmosphäre CO₂ in Mengen. In der Frühzeit des Planeten war die ganze Erde mit Wasser bedeckt. Fast kein Land. Die Landmasse nahm aber immer weiter zu und damit die mögliche Verwitterung.

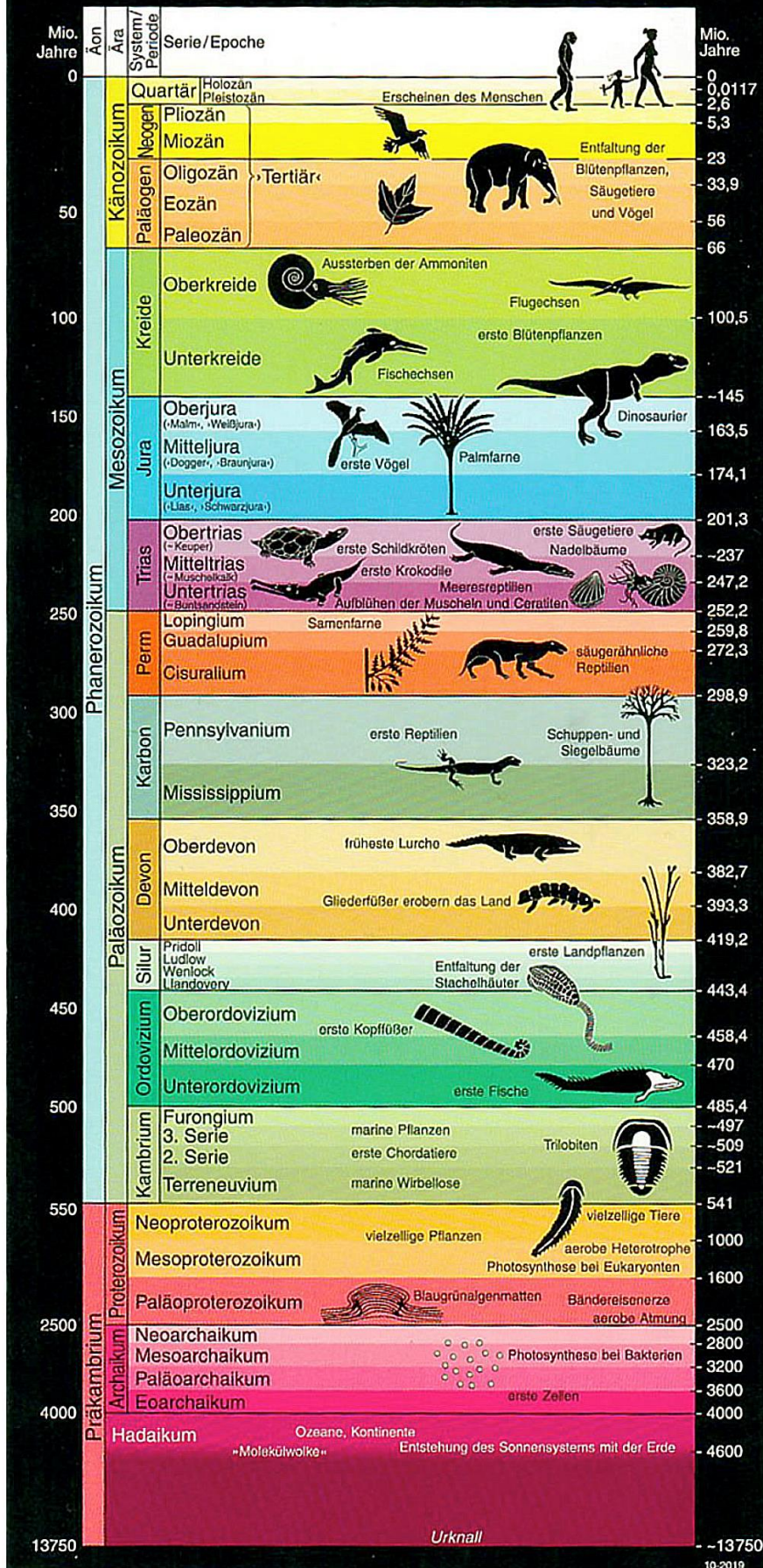
Die erste große Katastrophe, die das Leben zu meistern hatte, war die Große Sauerstoffkatastrophe vor 2,4 bis 2,1 Mrd. Jahren (S. 219).

Der Planet versank wegen des damit verbundenen Entzugs von CO₂ in eine 300 Mio. Jahre dauernde Eiszeit. Die erste Episode der sog. Schneeballerde. (S. 219) Zudem erzeugte die Sonne viel weniger Wärme als heute. Das Leben reagierte mit einer Zunahme an Komplexität: einzelne Zellen bündelten ihre Ressourcen, verbündeten sich zu „kernhaltigen oder ´eukaryotischen´ Zellen“ (S. 220).

Die nächste große Aufgabe vor 825 Mio. Jahren: das Auseinanderbrechen des Superkontinents Rodinia: drastische Zunahme der Verwitterung, Entzug von CO₂ mit folgenden Eiszeiten. Auch die führten zu Schneeball-Erde-Phasen. (S. 220)

Die Eukaryoten experimentierten mit einer weiteren Komplexitätssteigerung. Sie schlossen sich zu Organismen zusammen, die aus vielen verschiedenen Zellen bestanden, wobei jede nur eine bestimmte Funktion ausübte.

Die Erdzeitalter und die Entwicklung des Lebens



Eukaryoten und Bakterien sollten weiterhin sehr häufig bleiben. Nur war die Mehrzelligkeit von nun an keine Seltenheit mehr. Vor 1 Mrd. Jahren wäre man hin und wieder auf Seetang gestoßen, vor 800 Mrd. Jahren „war Seetang überall“ (S. 221). Vor 500 Mio. Jahren wimmelte es in diesem Seetang nur so vor Tieren – manche so groß, dass man sie mit bloßem Auge hätte sehen können.

Es wird auch in Zukunft wieder einen Entwicklungssprung geben, wo „in den letzten Phasen des Lebens ... eine ganz neue Art von Organismus“ hervorgebracht wird, „dessen Kraft und Effizienz unsere Vorstellung übersteigt.“ (S. 221)

So haben sich schon vor langer Zeit die „Mykorrhizen verschiedener Pflanzen miteinander vernetzt ..., um Nährstoffe auszutauschen und eine Art World Wide Web zu bilden, das das Wachstum des gesamten Waldes steuert. Der Wald ... ist ein einziger Superorganismus.“ (S. 222)

Pilze können das Leben in sehr großen Gebieten kontrollieren. Ein Hallimasch in Michigan breitet sich über eine Fläche von 15 ha. aus, hat eine Masse von 10000 kg und ist über 1500 Jahre alt (S. 222). Seine hauchdünnen Fäden verbinden sich tief unter der Erde „zu gewaltigen Netzwerken“.

Zum Ende der Dino-Ära kamen bei den Pflanzen die ersten Blumen auf – eine lautlose Revolution war das (S. 223). Ein Vorteil der Blumen: sie locken Bestäuber an, anstatt sich auf Wind, Wetter und Zufall zu verlassen. Umgekehrt gab das Aufkommen der Blumen den bestäubenden Insekten – Ameisen, Bienen, Wespen - einen großen Schub (S. 224). „Einige Pflanzen gehen so enge Beziehungen mit ihren Bestäubern ein, dass der eine nicht ohne den andern überleben kann.“ Feigen z.B. sind für ihre Fortpflanzung auf Feigenwespen angewiesen., die ihr gesamtes Leben um die Pflanze herum aufgebaut haben. In gewisser Weise sind sie ein einziger Organismus (S. 224).

Ähnlich haben das viele Insekten gemacht: ihre Kolonien „sind Superorganismen und weisen sogar spezifische Verhaltensweisen auf, die man ansonsten von Einzeltieren kennt.“ (S. 224) „Wie der Mensch gehen auch Ameisen enge Beziehungen sowohl mit den in ihren Körpern lebenden Bakterien als auch mit den Tieren in ihrer Umgebung ein. Sie bauen aktiv Pilzgärten an. Sie hüten Herden domestizierter Blattläuse und nutzen den von ihnen abgesonderten Honigtau als Nahrung.“ (S. 225)

Soziale Organisationen sind eine evolutionär sehr erfolgreiche Sache: mit ihr lassen sich ungleich mehr Ressourcen zusammentragen als das jedes einzelne Tier könnte (S. 225). Die Kooperation der Pflanzen mit ihren Bestäubern wird sich so weit entwickeln, dass sie kaum mehr als mikroskopisch kleine Organe im Inneren der Pflanze sind – so wie die Mitochondrien in unseren Zellen einst eigenständige Bakterien waren. (S. 226)

Aber auch die Pflanzen werden sich ändern – vielleicht werden sie Pilzen ähneln – mit Körpern, die zum großen Teil aus Wurzeln bestehen.

In 250 Mio. Jahren werden die Kontinente wieder zu einem Superkontinent verschmolzen sein, dem größten aller Zeiten. In seinem Inneren wird die trockenste aller Wüsten sein. „Es wird nur wenige sichtbare Anzeichen von Leben geben.“ (S. 227)

Das meiste Leben wird es in der Tiefsee geben. Das Land wird sehr leblos erscheinen, nur in seinen Tiefen wird es noch leben geben. Man muss dazu aber sehr tief graben. (227) Denn hier weit unter der Erde gibt es Bakterien, die Mineralien abbauen und eine ganze Reihe winziger Lebewesen, die diese Bakterien jagen (S. 227). Die meisten davon sind Spulwürmer, „die wohl am sträflichsten vernachlässigte Form tierischen Lebens überhaupt“ (S. 228).

Das Leben in diesen Tiefen geht langsam voran - die Bakterien können tausende von Jahre alt werden. Aber wenn sich die Erde weiter aufheizt und CO₂ immer knapper wird, nimmt das Leben in der Tiefe Fahrt auf. „Die Hitze selbst wird es antreiben“ (S. 228). Es werden pilzartige Superlebewesen entstehen, die sich die trägen Bakterien in der Tiefe zunutze machen werden.

Zuletzt wird vielleicht ein einziger riesiger Superorganismus entstanden sein, der weiter trotzig gen das Sterben aufbegehrt (S. 228).

In 800 Mio. Jahren: Die Erde dreht sich weiter, aber langsamer, der nukleare „Hochofen“ im Erdkern, der die Kontentaldrift befeuert, erlahmt. An der oberfläche des einzigen und letzten riesigen Großkontinents „wird es kein Leben mehr geben“ (S. 229). Auch das letzte Leben im Meer, das sich um hydrothermale Schlote in de Tiefsee sammelt, wird an Nährstoffmangel sterben, sobald die Schlote versiegen.

In rd. 1 Mrd. Jahre wird das Leben auf der Erde „endgültig erloschen sein.“ (S. 229)

„Die Karrieren aller Lebewesen enden mit dem Aussterben.“ (S. 231)

H.s. ist deshalb so außergewöhnlich, „weil er die einzige Spezies ist, dies ich, so weit bekannt, ihrer Stellung im Universum je bewusst geworden ist. Er hat eingesehen, welchen Schaden er der Welt zufügt, und erste Schritte unternommen, diesen zu begrenzen.“ (S. 231)

Gegenwärtig geht die Sorge um, das H.s. ein 6. Massensterben auslösen könnte - ähnlich den Big Five am Ende des Perms, der Kreide, des Ordoviziums, der Trias und des Devons (S. 231).

Allein: Die Menschheit müsste noch 500 Jahre genauso weitermachen, um mit der Aussterberate unter den Big Five zu landen (S. 232). Deshalb: Es ist noch genügend Zeit, gegenzusteuern. (S. 232)

Natürlich könnte man einwenden, dass es in der Natur des Klimas liegt, sich zu wandeln. So dass man auf die Forderung „Rettet den Planeten!“ „Stoppt den Kontentaldrift!“ erwidern könnte. (S. 232)

Aber wir sind uns dessen bewusst und unternehmen bereits Schritte, um in Zukunft verantwortungsvoll zu handeln. (S. 233) Mit Wirkungen: „Die Städte werden heute immer sauberer und grüner.“ „Vor 50 Jahren, als die Weltbevölkerung nur halb so groß war wie heute, machte man sich ernsthafte Sorgen, dass die Menschheit bald nicht mehr imstande sein würde, sich zu ernähren. 50 Jahre später ernährt der Planet doppelt so viele Menschen, und sie sind im Durchschnitt gesünder, leben länger und sind wohlhabender als damals. „Wir diskutieren heute mehr über wachsende Ungleichheit als über wachsende Armut.“ (S. 233)

Und allein in GB ist der Energieverbrauch pro Kopf in den letzten 20 Jahren um $\frac{1}{4}$ zurückgegangen (S. 234).

Zudem sind die Menschen gebildeter als je zuvor. In den 70ern besuchte nur jeder 5. Mensch auf der Welt eine Schule, heute es jeder zweite (51%) (S. 234). Zudem wird die Weltbevölkerung zurückgehen. 2100 wird ihre Anzahl geringer sein als heute.

Aber vielleicht können wir uns per Raumfahrt auf einen lebensfreundlichen Planeten retten. Nein, können wir nicht. Denn die Kolonien auf fernen Planeten wären viel zu klein, um die Spezies Mensch überlebensfähig zu halten (S. 237).

„Was also wird das menschliche Vermächtnis sein? Gemessen an unserer Lebensdauer auf der Erde – nichts ... außer einer millimeterdünnen Schicht in irgendeinem zukünftigen Sedimentgestein, so lange, bis auch dieses von der Witterung zu Staub zermahlen und auf den Meeresgrund gesunken ist.“ (S. 237)