

Panta rhei – Zufall, Wandel und Evolution charakterisieren unsere Welt

MICHAEL WINK

Institut für Pharmazie und Molekulare Biotechnologie
Universität Heidelberg¹

Zusammenfassung

Menschen lieben die Illusion, in einer stabilen Welt und Umwelt zu leben. Die Wirklichkeit zeigt aber häufig das Gegenteil: Werden, Vergehen und Zufall spielen eine größere Rolle als Stabilität. Diese Erkenntnis lehrten Philosophen (Heraklit, Epikur, Lukrez) schon vor über 2000 Jahren. Alle Lebewesen auf unserem Planeten, inklusive des Menschen und seiner Vorfahren, haben sich im Verlauf der Evolution ständig verändert und weiterentwickelt und tun es auch heute noch. Arten diversifizieren sich und verändern stetig ihre Verbreitung. Auch unser Planet Erde unterliegt seit seiner Entstehung vor 4,55 Milliarden Jahre einem steten Wandel, was die Lage und Größe der Kontinente oder das Klima angeht. Insbesondere weisen die letzten 2 Millionen Jahre einen zyklischen Wechsel von Warm- und Kaltzeiten auf. Der moderne Mensch hat seine Umwelt seit jeher durch diverse Schlüsselinnovationen (Schrift, Werkzeuge, Hausbau, Domestikation von Pflanzen und Tieren, Jagd und Technologien) aktiv beeinflusst und ständig verändert. Diese Entwicklung wird in der Neuzeit, in der die Menschheit auf über 7 Milliarden Individuen angewachsen ist, besonders sichtbar. Aber auch im Bereich der Soziologie, Gesellschaft, Wirtschaft und Politik kann man ein Werden und Vergehen von Konzepten und Modellen erkennen, ähnlich wie dies für die physische Welt und belebte Natur (Evolution) diskutiert wird. Der Leitspruch von Heraklit von Ephesos „panta rhei“ fasst die Wirklichkeit unserer Welt und unseres Daseins treffend zusammen.

¹ Teile dieses Artikels wurden in ähnlicher Weise bereits in anderen populärwissenschaftlichen Artikeln verwendet (Wink, 2014a, b).

2.1 Einleitung

Dass wir in einer Welt leben, die einem steten Wandel unterliegt, wurde schon von den Philosophen der Antike diskutiert. Für Heraklit von Ephesos (ca. 520–480 v. Chr.; Abb. 1) sind Werden und Vergehen kennzeichnend für unsere Welt. Der berühmte Ausspruch „panta rhei – alles fließt“ oder „Wer in dieselben Flüsse hinabsteigt, dem strömt stets anderes Wasser zu“, fasst diese Weltanschauung in Kurzfassung zusammen.

Der griechische Philosoph Epikur (341–270 v. Chr.) nahm an, dass die physikalische Welt, die Lebewesen, die menschliche Gesellschaft und die Moral sich spontan entwickelt haben und nicht von einem Schöpfer oder göttlichen Wesen geplant und geschaffen wurden. Die Schriften von Epikur überlebten nicht, wohl aber die Werke von Lukrez, der in einem langen Gedicht *De rerum natura* die Gedanken von Epikur aufgriff und erläuterte. *De rerum natura*

besteht aus sechs Büchern mit insgesamt ca. 7800 Versen. Lukrez (Titus Lucretius Carus; gestorben um 50 v. Chr.) war ein freier Denker, der Magie, Religion, Aberglaube und Mystik ablehnte und versuchte, die Welt empirisch zu verstehen. Lucretius nahm an, dass die Materie aus sehr kleinen Teilen besteht, die durch große leere Räumen voneinander getrennt sind (Atomismus); damit kam er unseren atomaren Vorstellungen schon nahe. Lukrez lehrte, dass das Universum ohne Schöpfer und nicht speziell für uns Menschen entstand. Ähnlich wie moderne Atheisten glaubte er nicht an eine unsterbliche Seele, weder an ein Leben nach dem Tode, noch an Engel, Teufel oder Geister. Er glaubte daher nicht an eine Vorsehung und einen tieferen Sinn der Existenz; er sah überall ein zufallsabhängiges Werden und Vergehen. Seine Überlegungen waren schon darwinistisch, indem er annahm, dass die Natur ständig experimentiert und nur etwas überlebt, was sich anpassen und behaupten kann. Die frühe Vorzeit war für ihn kein Paradies, sondern immer schon ein Kampf ums Überleben gewesen. Die Vorstellungen von Lukrez kamen schon in der Antike nicht gut an und wurden vom Christentum bald unterdrückt. Matt Ridley (2015) spekuliert, dass der Darwinismus viel früher hätte entwickelt werden können, wenn Lukrez nicht verboten worden wäre. Epikureer gelten seit damals als skandalöse und verantwortungslose Hedonisten. Zu Beginn der Renaissance wurden die Schriften von Lukrez wieder bekannter und viele Denker, Dichter (insbesondere Johann Wolfgang von Goethe) und Wissenschaftler übernahmen teilweise seinen Denkansatz, der im Gegensatz zum weit verbreiteten Schöpferglauben und Determinismus steht.

Wohin wir auch schauen, sehen wir zufälliges Werden und Vergehen, sei es in der Entstehung unseres Universums, unserer Welt und ihrer Lebewesen, unserer Umwelt und unserem Klima und in unserem eigenem Leben, aber auch in unseren sozialen und politischen Strukturen. Dennoch glauben wir (vermutlich geprägt durch die Ideenwelt des Determinismus und der Religion, in der ein weiser und vorausschauender Gott die Welt

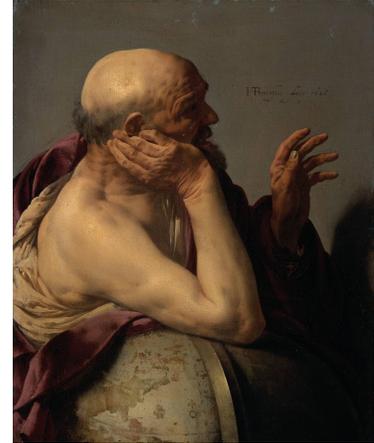


Abbildung 1: Heraklit von Ephesos (Ölgemälde von Hendrick ter Brugghen; 1628).

steuert), dass Stabilität und Gleichgewicht unser Leben und unsere Welt regieren. Wir möchten die aktuelle Situation unserer Welt in einem Status quo halten, z. B. durch Natur- oder Klimaschutz, obwohl wir bei genauer Analyse feststellen müssen, dass unsere Natur und unser Klima noch nie statisch waren, sondern immer einem Wandel unterlagen, den wir Menschen nur bedingt steuern können (Reichholf, 2007).

In diesem kurzen Abriss möchte ich das Phänomen des Wandels, Werdens und Vergehens an wenigen Beispielen erläutern. Unsere Welt ist nicht deterministisch geplant, sondern unterliegt vielen Zufallsprozessen und Selektionsvorgängen. Ausgehend von der Erkenntnis, dass alle Lebewesen durch Evolution entstanden, soll diskutiert werden, dass Zufall, Evolution und Selektion auch viele soziale, politische und kulturelle Strukturen prägen, wie dies der englische Evolutionsbiologe Matt Ridley (2015) in seinem neuesten Buch „The Evolution of Everything – How New Ideas Emerge“ ausführlich erörtert.

2.2 Evolution des Lebens und Biodiversität auf der Erde

Die Geschichte unseres Universums, der Erde und der darauf vorkommenden Organismen ist geprägt durch Werden und Vergehen, d. h. durch einen stetigen Wandel. Unser Universum soll 13,8 Milliarden Jahre alt und vermutlich mit dem Urknall entstanden sein (Gebel, 2014). Unsere Erde ist ca. 4,55 Milliarden Jahre alt. Zu Beginn herrschten extrem hohe Temperaturen auf unserem Planeten. In den ersten 500 Millionen kühlte die Erde kontinuierlich ab; erst nach Bildung einer Atmosphäre entwickelten sich auf der Erde Bedingungen, die ein Leben erlaubten (Fischer und Schneider, 2013; Storch et al., 2013; Wink, 2014a, b).

Erstes Leben gab es auf der Erde vermutlich vor etwa 3,5 Milliarden Jahren. Über den Prozess, der zur ersten lebenden Zelle führte, können wir nur spekulieren. Falls das Leben auf unserer Erde entstand, dann müssten die Grundmoleküle des Lebens (also RNA, DNA, Proteine, niedermolekulare Metaboliten, Biomembranen) vermutlich vor 3,8 Milliarden Jahren durch Chemische Evolution entstanden sein. Der Nachweis für erstes Leben auf unserer Erde beruht auf Fossilien, die vermutlich 3,5 Milliarden Jahre alt sind. Die Fossilien sollen Ähnlichkeit mit heutigen Cyanobakterien („Blualgen“) aufweisen. Die fossilen Cyanobakterien besaßen vermutlich schon die typische chemische Zusammensetzung der heutigen Bakterien und Makromoleküle, wie Nucleinsäuren, Proteinen und Biomembranen; sie nutzten auch schon die komplex aufgebaute Photosynthese. Da der Zeitraum für die Entstehung des Lebens nur sehr kurz war (ca. 500 Millionen Jahre), diskutieren einige Wissenschaftler sogar, ob das Leben gar nicht auf unserer Erde entstand, sondern von Lebewesen aus anderen Systemen stammt, die durch Meteoriteneinschlag zufällig auf die Erde gelangten (Panspermie-Hypothese). Astronomen nehmen an, dass im Universum tausende erdähnliche Systeme existieren, so dass die Annahme von extraterrestrischem Leben durchaus möglich erscheint (Storch et al., 2013; Wink, 2014a).

Die in marinen und aquatischen Lebensräumen lebenden Bakterien spalteten sich in den nächsten 2 Milliarden Jahre in Eubakterien und Archaeobakterien auf (Abb. 2). Vor rund 1,8–1,3 Milliarden Jahren tauchen zum ersten Mal komplexere Zellen (sogenannte Eukaryoten) mit Zellkern, internen Membransystemen und Organellen, wie Mitochondrien

und Chloroplasten auf. Die getrennten Reaktions- und Funktionsräume erlaubten den Euzyten eine Diversifizierung der metabolischen Funktionen und eine Spezialisierung der Zelltypen; eine entscheidende Voraussetzung für die Evolution mehrzelliger Organismen mit diversen Geweben und Organen. Lange Zeit ging man von wiederholter Urzeugung der Zelle aus. Heute sind wir jedoch sicher, dass keine Zelle *de novo* entstehen kann, sondern immer durch Teilung von einer Mutterzelle abstammt. Dies bedeutet, dass alles Leben auf unserer Erde miteinander verbunden und auf eine gemeinsame Urzelle (LUCA- *last universal common ancestor*) zurückzuführen ist, die sich kontinuierlich weiterentwickelt hat (Storch et al., 2013).

Vor jeder Zellteilung müssen die aus DNA aufgebauten Gene einer Mutterzelle identisch kopiert werden. Obwohl die Replikation sehr präzise erfolgt, können einige wenige Kopierfehler auftreten; d. h. dass falsche Nucleotidbasen in die neue Kopie eingebaut werden oder Gene ihre Position auf den Chromosomen ändern. Außerdem können sich die DNA-Basen spontan durch Depurinierung, Desaminierung, Oxidation und Dimerisierung verändern. Werden solche Veränderungen (Mutationen) nicht durch die weitverbreiteten aktiven Reparaturenzyme repariert, gehen sie bei der Replikation an die Tochterzelle weiter. Mutationen treten ständig und spontan auf, so dass die Gene einer Art nicht über alle Zeiten unverändert bleiben, sondern sich stetig weiterentwickeln. Wie alle anderen Lebensvorgänge unterliegt auch die DNA einem steten Wandel und Veränderung. Mutationen sind für die Evolution wichtig, führen sie doch zu einer erhöhten genetischen Variabilität des Geno- und häufig auch des Phänotyps. Über die *natürliche Selektion* können diejenigen Individuen ausgewählt werden, die besonders gut an die gegebenen Lebensbedingungen angepasst sind. Das geht aber nur, wenn es in einer Population Individuen gibt, deren Eigenschaften variabel sind und die sich unterscheiden. Dies ist die Grundlage der Evolutionstheorie von Charles Darwin, die er in der „On the Origin of Species“, 1859 zum ersten Mal einer breiten Öffentlichkeit vorstellte. Da sich Genome kontinuierlich ändern und Selektionsprozesse immer ablaufen, bleiben auch Evolution und Phylogenie nie stehen – das gilt natürlich auch für uns Menschen, auch wenn wir gerne glauben, dass wir das Endstadium einer Entwicklungsreihe sind. Werden, Vergehen, Zufall und Evolution sind auch auf der molekularen Ebene Prozesse, die unsere lebende Welt prägen (Kunz, 2014).

Die Dynamik der Evolution, d. h. kontinuierliches Entstehen und Wandel sind beeindruckend. Aus zunächst einzelligen Eukaryoten entstanden vor rund einer Milliarde Jahre vielzellige Pflanzen, Pilze und Tiere (Abb. 1). Bis vor etwa 635 Millionen Jahren war die Erde von einer riesigen Eisschicht bedeckt („Schneeball-Erde“). Durch Freisetzung von aus Mikroorganismen produzierten Treibhausgasen entstand vor 540 Millionen Jahre eine besonders fruchtbare Periode, die mit einer rasanten Diversifizierung des Lebens und Entstehung der heute bekannten Baupläne der Tiere einhergeht. Diese Periode der Erde wird als „Kambrische Explosion“ bezeichnet. Im Erdaltertum (Palaeozoikum), Erdmittelalter (Mesozoikum) und Erdneuzeit (Känozoikum oder Neozoikum) entstanden viele neue Arten, Familien oder Stämme, die durch Selektion in der Lage waren, die auf der Erde vorhandenen oder neu entstandenen unterschiedlichen Nahrungsquellen und Lebensräume zu nutzen (Fischer und Schneider, 2013; Storch et al., 2013).

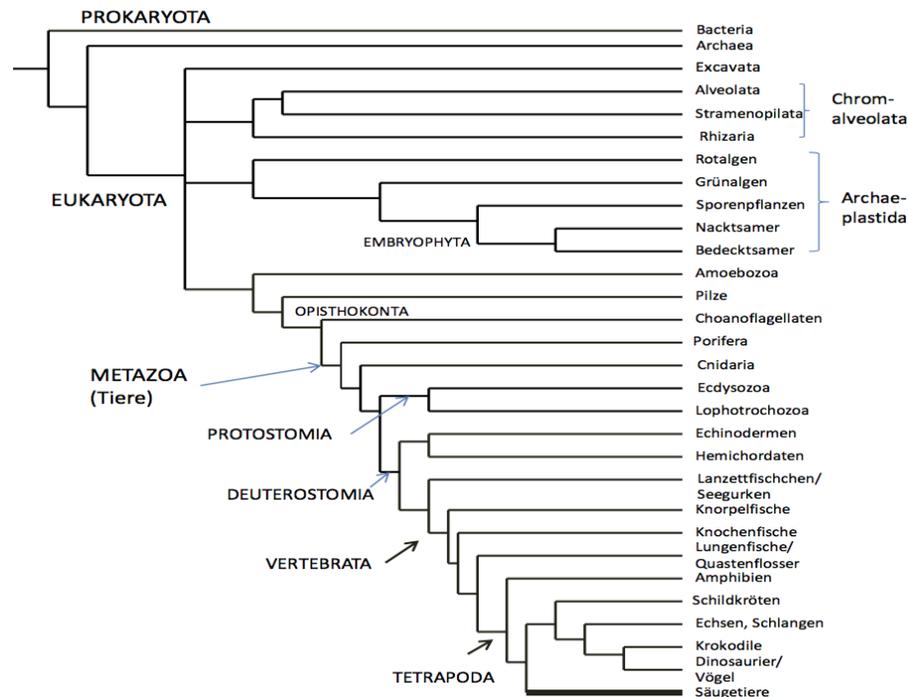


Abbildung 2: Vereinfachter molekularer Stammbaum des Lebens (aus Wink, 2014), der aufgrund von DNA-Daten rekonstruiert wurde.

Aktuell haben die Biologen über 1 Million Arthropoden, 62.000 Wirbeltiere, 300.000 Pflanzen und mehrere 100.000 Einzeller und Bakterien beschrieben. Die meisten der Arten, die je auf der Erde gelebt haben (man schätzt 99%), sind aber bereits ausgestorben, da sich die Lebensbedingungen regelmäßig lokal und global änderten. Man denke nur an die unten diskutierten globalen Katastrophen oder an den steten Wechsel von Eiszeiten und Warmzeiten, die in den letzten 500 Millionen Jahren, insbesondere in den letzten 2 Millionen Jahren zyklisch auftraten. Die durchschnittliche „Lebenserwartung“ einer Säugetierart liegt z. B. bei etwa 1 Million Jahre. Mindestens fünf globale Katastrophen (extreme Aussterbe-Ereignisse) konnten in den letzten 500 Millionen Jahren nachgewiesen werden, die zum Erlöschen von tausenden Arten, Gattungen und Familien führten (Fischer und Schneider, 2013; Storch et al., 2013). Ursache für ein solches Massenaussterben waren vermutlich Einschläge von größeren Meteoriten auf der Erde, die zu starker Vulkantätigkeit, Überflutungen und Eiszeiten führten. Am besten dokumentiert ist die letzte große globale Katastrophe vor 66 Millionen Jahren, als ein großer Meteorit im Golf von Mexiko bei Yukatan einschlug. Bekannt wurde dieses Ereignis durch das auffällige Aussterben der Dinosaurier. Dieses Ereignis hatte globale Folgen für die Biodiversität der Erde. Heute bezeichnet man die Auswirkungen als Kreide-Tertiärgrenze, die den Übergang des Mesozoikums in das Känozoikum einläuteten.

Offenbar haben Katastrophen das Werden neuer Entwicklungslinien gefördert, da Bewohner bisheriger ökologischer Nischen eliminiert wurden. Nach jeder dieser großen Kata-

stropfen wurde eine auffällig intensive Neuentwicklung von Arten, Gattungen oder Familien mit größerer Biodiversität innerhalb der folgenden 5–30 Millionen Jahre festgestellt. Vermutlich war der Meteoriteneinschlag vor 66 Millionen Jahren nicht der letzte seiner Art. Unter Meteoriteneinschlägen leidet natürlich nicht nur die Erde, sondern jeder Himmelskörper, wovon man sich leicht selbst überzeugen kann, wenn man sich die Mondkrater bei Vollmond im Fernrohr anschaut. Auch wenn uns die Vorstellung nicht behagt, wird es auch zukünftig solche zufälligen Ereignisse geben, welche die evolutionäre Entwicklung anhalten oder neu starten können. Dem Zufall kommt daher beim Werden und Vergehen eine große Rolle zu, da unsere Welt nicht deterministisch von einem Gott oder einer überirdischen Macht gelenkt wird (Kunz, 2014). Im Kosmos gibt es demnach so etwas wie ein „Mensch ärgere Dich nicht“-Spiel, bei dem ein Spieler wieder bei null beginnen muss, wenn er aus dem Spiel herausgewürfelt wurde.

2.3 Wandel und Evolution des Menschen

Wir Menschen haben vermutlich schon lange über unseren eigenen Ursprung und unsere Stellung in der Welt und im Universum nachgedacht. Diverse Schöpfungsmythen können heute durch eine evolutionäre Sichtweise ersetzt werden (Diamond, 2005, 2011, 2012).

Bekanntlich sind wir Menschen Säugetiere und gehören zur Familie der Primaten. Von den frühen Vorstufen der Primaten bis zum Menschen benötigte die Evolution ca. 65 Millionen Jahre. Vor 30 Millionen Jahren teilten die Altweltaffen und die Hominoiden (Menschenaffen und Menschen) noch einen gemeinsamen Vorfahren (Roberts, 2011; Storch et al., 2013). Die in Asien vorkommenden Gibbons und die Menschenaffen (Hominidae) hatten vor etwa 18 Millionen Jahren noch einen gemeinsamen Vorfahren (Abb. 3). Innerhalb der Hominidae entstanden in Asien die Orang-Utans (mit heute zwei Arten auf Borneo und Sumatra; Borneo-Orang-Utan *Pongo pygmaeus* und Sumatra-Orang-Utan *Pongo abelii*) und in Afrika die Gorillas sowie die Schwestergruppe Schimpanse und Mensch. Aus den Schimpansen (Gattung *Pan*) gingen vor etwa 1 Million Jahre zwei nahverwandte Arten, der Gemeine Schimpanse (*Pan troglodytes*) und der Bonobo oder Zwergschimpanse (*Pan paniscus*) hervor. Innerhalb der Menschenaffen sind die afrikanischen Schimpansen und Bonobos unsere allernächsten Verwandten, mit denen wir vor 5–7 Millionen Jahren einen gemeinsamen Vorfahren teilten (Abb. 3).

Den Paläoanthropologen gelangen in den letzten Jahrzehnten aufregende Fossilfunde von frühen Vorfahren des Menschen, so dass wir heute die letzten 6 Millionen Jahre der Menschwerdung recht genau beschreiben können, obwohl vermutlich noch viele Zwischenstufen fehlen (Roberts 2011; Storch et al., 2013). Es ist jedoch zu beachten, dass das Artkonzept der Paläoanthropologen eher typologisch als biologisch/phylogenetisch einzustufen ist; d. h. nicht jede Menschen-Form, die mit einem Artnamen versehen wurde, ist aus biologischer Sicht eine „gute“ Art. Die Gattung *Homo*, in der wir Menschen als *Homo sapiens* geführt werden, entstand vor vermutlich 2 Millionen Jahren aus Australopithecinen, die noch keine Werkzeuge oder Feuer benutzten. Eine auffällige anatomische Veränderung innerhalb der letzten 2 Millionen Jahre ist die Zunahme des Hirnvolumens von 600 cm³ bei *Homo habilis* auf über 1500 cm³ bei *H. sapiens* oder *H. neanderthalen-*

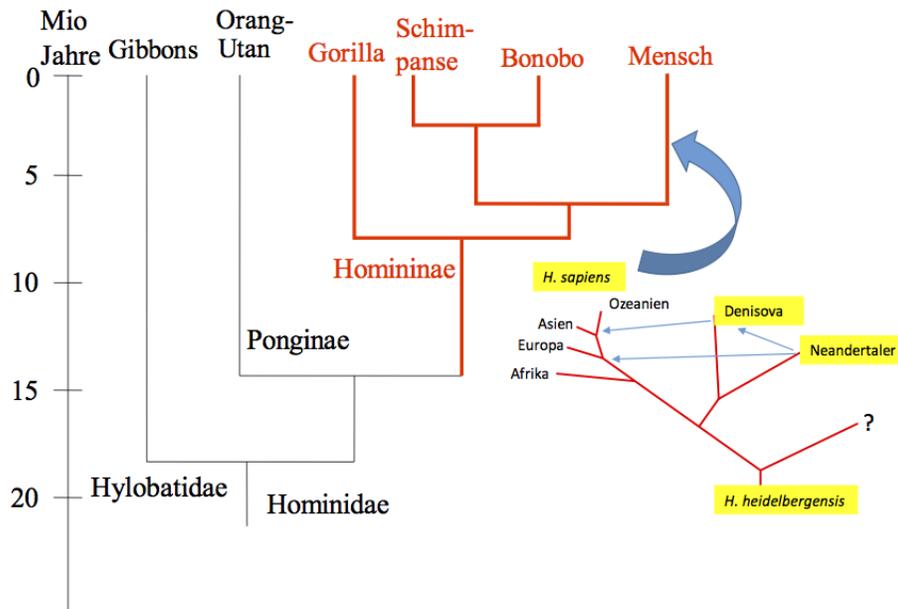


Abbildung 3: Phylogenie des Menschen und der Menschenaffen aufgrund von molekularen Daten (Storch et al., 2013). Die blauen Pfeile in der unteren Graphik deuten auf mögliche Hybridsierungen hin.

sis, die beide von *H. heidelbergensis* abstammen (Roberts, 2011; Storch et al., 2013). Mit dem Gehirnwachstum geht eine Zunahme der Anzahl der Neuronen auf über 100 Milliarden einher, die untereinander in einem komplexen Netzwerk verbunden sind (sogenanntes Konnektom). Die erhöhte Gehirnkapazität war vermutlich Voraussetzung für den Erfolg des Menschen als sprechendes Sozialwesen und innovativen Technologen.

H. sapiens entstand vor vermutlich 200.000 Jahren in Afrika und breitete sich in den letzten 60.000 Jahren über Asien nach Australien, Amerika und Europa aus. Europa besiedelte der moderne Mensch vor rund 40.000 Jahren und traf dort auf den Neandertaler, der vor spätestens 28.000 Jahren ausstarb (Roberts, 2011). Innerhalb der Neandertaler konnte durch Genomanalyse eine weitere Entwicklungslinie identifiziert werden, die als Denisova-Mensch bezeichnet wird. Ob der Neandertaler und Denisova-Mensch sich nicht an die veränderten Klimabedingungen anpassen konnte oder aber von *H. sapiens* verdrängt oder sogar umgebracht wurde, ist noch nicht geklärt. Genetische Untersuchungen weisen jedoch darauf hin, dass moderne Menschen und Neandertaler, aber auch der Denisova-Mensch sich offenbar mehrfach vermischten, so dass auch heute noch Neandertaler-Gene bei uns Menschen (außerhalb von Afrika) vorhanden sind. Es wird von einem Anteil von 2% Neandertaler-Genen ausgegangen.

Vor mindestens 100.000 Jahren begann die dramatische Erfolgsgeschichte des modernen Menschen, für die einige genetische Anpassungen wichtig wurden (Diamond, 2005, 2011, 2012; Wilson, 2012): Der moderne Mensch hatte zunächst eine schwarze Hautfarbe

(Adam und Eva, so es sie denn gab, waren demnach schwarz!), die im tropischen Afrika als Sonnenschutz für das Überleben wichtig war. In nontropischen Gebieten hätten Siedler mit schwarzer Hautfarbe langfristig nicht überleben können, da dort nicht ausreichend Sonnenlicht für eine ausreichende Vitamin D-Produktion zur Verfügung steht. Durch Mutation der dominanten Gene für schwarze Hautfarbe entstanden hellhäutige Varianten, die besser an das Leben in lichtärmeren Regionen angepasst waren. Während man früher von einem Zeitpunkt vor ca. 40.000 Jahren für diese Mutation ausging, weisen neuere Arbeiten darauf hin, dass die Entstehung der weißen Hautfarbe erst vor 10.000 bis 5.000 Jahren erfolgte (Roberts 2011).

Eine weitere Mutation erlaubte die Nutzung von Milch, die von Haustieren produziert wurde. Das Enzym Laktase für den Abbau des Milchzuckers Laktose fehlt ursprünglich bei erwachsenen Menschen. Im Neolithikum, vor rund 7500 Jahren, gab es bei frühen Europäern eine Mutation, die dazu führte, dass nicht nur Babys, sondern auch Erwachsene noch Laktase produzieren konnten. Die Produktion der Laktase ist eine Voraussetzung für Nutzung von Milch und Milchprodukten und damit für die Domestikation von Haustieren, die einen Meilenstein in der Entwicklung des modernen Menschen darstellt (Wilson, 2012; Roberts, 2011). Heute können nur 30 % der Weltbevölkerung Milch verdauen; sie leiten sich alle von Vorfahren in Europa ab.

2.4 Veränderlichkeit der Kontinente

Veränderlichkeit ist auch das dominierende Merkmal in der Geschichte der Erde. Alle wichtigen Parameter, seien es Atmosphäre, Lage und Größe der Kontinente oder insbesondere das Klima, waren und sind einer steten Veränderung unterworfen und werden es vermutlich bleiben. Ein Gleichgewicht oder eine Stabilität auf der Erde oder in unserer Umwelt wird es bestenfalls kurzfristig geben. Wir Menschen können uns schwerlich mit der Vorstellung abfinden, dass wir in einer Umwelt leben, die sich ständig verändert. Wir schwärmen stattdessen von Stabilität, einem Gleichgewicht und einer Harmonie der Natur (Reichholf, 2007; Kunz, 2014; Ridley, 2015).

Nicht einmal unser Planet Erde ist stabil: Die Lage der Kontinente ist keineswegs statisch, wie man gerne annehmen möchte. Seit Entstehung der Erde sind die Erdplatten in Bewegung. Vor etwa 1,1 Milliarden Jahren existierte der erste Superkontinent Rodinia. Vor 540 Millionen Jahren lagen die Erdplatten in einem Superkontinent Gondwana und vor 250 Millionen Jahren als Pangäa zusammen. Danach sind die Platten auseinandergedriftet und erst seit 90 Millionen Jahren in die heutigen Kontinente getrennt (Abb. 4). Aber auch heute noch sind die Erdplatten in Bewegung: Mit einer Geschwindigkeit von 5 cm pro Jahr schiebt sich z. B. die Afrikanische Platte nach Norden und stößt auf Europa und Asien. Wenn Platten zusammenstießen, kam es häufig zu Gebirgsbildungen (Rocky Mountains, Alpen) und vermehrtem Vulkanismus.

Die von Alfred Wegner 1912 postulierte Plattentektonik ist für die Verbreitung der Lebewesen auf unserer Erde von großer Bedeutung. Denn Arten oder deren Vorfahren, die vor 100 Millionen allgemein verbreitet waren, gelangten mit den Erdplatten in die heutigen Kontinente und zeigen daher oft eine kosmopolitische Verbreitung (Storch et



Abbildung 4: Plattentektonik – Vor 250 Millionen Jahren lagen noch alle Kontinente als Pangäa zusammen (aus Wikimedia Commons).

al., 2013). Andere Arten wurden erst später zufällig von ihrem Ursprungskontinent auf einen neuen verfrachtet (z. B. durch Stürme oder Meeresströmung oder durch Wanderungen). Falls es ihnen gelingt, gründen sie in der neuen Heimat eine neue Entwicklungslinie, die sich unabhängig von der Ausgangslinie entwickelt und neue Formen bildet. Besonders deutlich sieht man das Phänomen auf ozeanischen Inseln, die von wenigen Gründern besiedelt werden. Indem sie sich an die lokalen Bedingungen anpassen, kann eine radiative Artbildung eintreten; ein gut untersuchtes Beispiel sind die Darwin-Finken auf den Galapagosinseln. Bei diesen Prozessen spielt der Zufall eine große Rolle.

2.5 Veränderlichkeit des Klimas

Das Thema Klimawandel wird in den letzten Jahrzehnten vehement in der Öffentlichkeit und Politik diskutiert. Oft gehen die Diskutanten von einem stabilen Klima aus, das erst durch den Einfluss des Menschen instabil geworden ist. Leider werden die vorhandenen Daten zur Entwicklung des Klimas auf der Erde in der Vergangenheit meist nicht berücksichtigt.

Da Wetterdaten erst seit wenigen hundert Jahren genau erfasst werden, spricht man heute häufig von „seit dem Beginn der Wetteraufzeichnung“; damit ist maximal der Zeitraum ab 1781 gemeint, als die „Kleine Eiszeit“ bei uns herrschte (Abb. 5). Dies bedeutet, dass wir eine Zeit als Norm annehmen, die nachweislich unter vielen Klimaproblemen litt (durch Kälte bedingte Hungersnöte, Epidemien und Kriege) (Reichholf, 2013; Glaser,

2013; Behringer, 2014). Dennoch gibt es verlässliche Daten aus Klimaarchiven (Pollenanalysen, Jahresringe von Bäumen, Hochwassermarken, Bohrkerne aus Sedimenten, Gletschern, Antarktis, Grönlandeis), um das Klima der Vergangenheit über viele tausend Jahre zu rekonstruieren. Diese Daten ermöglichen es, historische Ereignisse, wie Hungersnöte, Pestepidemien oder Kriege mit Klimaereignissen (meist Kälteperioden) in Verbindung zu bringen (Reichholf, 2013; Glaser, 2013; Behringer, 2014).

Eine Analyse der Erdgeschichte belegt einen steten Wandel des Erdklimas, das von Trocken-, Eis- und Warmzeiten geprägt wurde (Abb. 5). Es gab Zeiten, die 30–50°C kälter waren als heute, aber auch Zeiten, die 10–20°C wärmer waren. Klimatische Veränderungen hatten schon immer einen gewaltigen Einfluss auf Pflanzen- und Tierwelt, aber auch die menschliche Kultur (Reichholf, 2007; Behringer, 2014; Glaser, 2013).

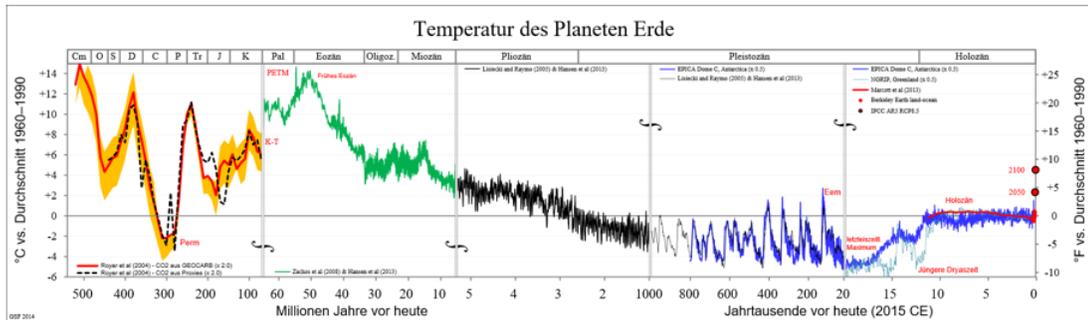
Klimawandel ist ein immanenter Prozess, der in der Vergangenheit offenbar durch Intensitätsveränderungen der Sonne (Milankovic-Zyklen), durch Vulkanausbrüche, durch Verlagerung des Golfstroms oder durch Meteoriteneinschläge dramatisch beeinflusst wurde. Der Klimawandel, der vermutlich durch menschliche Aktivitäten ausgelöst wurde, hat dagegen andere Ursachen (z. B. Erhöhung der Treibhausgase; Glaser, 2013; Behringer, 2014).

2.6 Veränderlichkeit und Wandel der Biodiversität

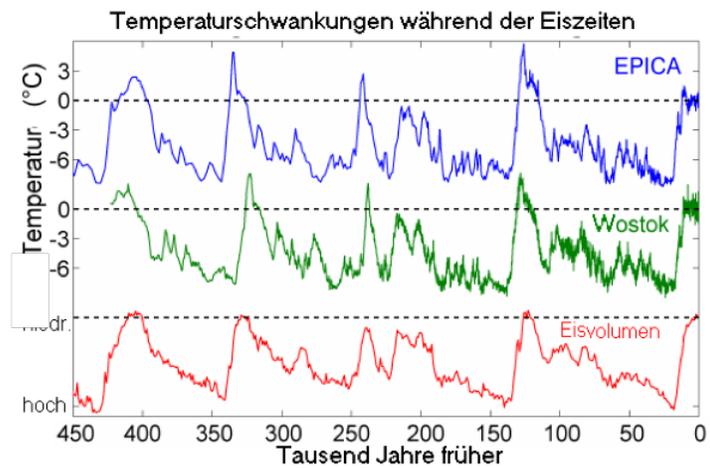
Die Zusammensetzung der Tier- und Pflanzenwelt (Biodiversität) hängt sehr stark von den vorhandenen Lebensräumen und den in ihnen vorhandenen ökologischen Nischen ab. Die Lebensräume sind wiederum vom Klima abhängig. Zusätzlich bestimmt die Vergangenheit (historische Verbreitung) die aktuelle Biodiversität in einem gegebenen Lebensraum.

Aktuell wird in der Wissenschaft, vor allem aber in den Medien, die mögliche Auswirkung des postulierten Klimawandels auf die Entwicklung der Tier- und Pflanzenwelt intensiv diskutiert (Reichholf, 2007). Der Eisbär auf einer schmelzenden Eisscholle wird gerne als Warnzeichen genommen. Dabei darf man jedoch nicht vergessen, dass die meisten Organismen keine statischen Temperaturroboter, sondern flexible Organismen sind, die sich anpassen oder ihre Verbreitung ändern können. Fauna und Flora weisen eine erstaunliche Widerstands- (Resilienz) und Erholungsfähigkeit auf. Während der letzten Eiszeit vor 20.000 Jahren herrschte in Afrika und Südamerika eine Trockenzeit, in der die Regenwälder auf kleine Restareale zusammenschrankten. Erst mit Beginn der nacheiszeitlichen Warmzeit wurden weite Teile der Tropen wieder feucht und die Regenwälder erreichten innerhalb von weniger als 10.000 Jahren die maximale Ausdehnung der Neuzeit. Alle heute lebenden Arten haben in den letzten 2 Millionen Jahren einen Wechsel von Eis- und Warm-Zeiten mehrfach überlebt. Optimisten nehmen daher an, dass die meisten Tier- und Pflanzenarten plastisch und flexibel genug sind, um auch den aktuellen Klimawandel zu überleben.

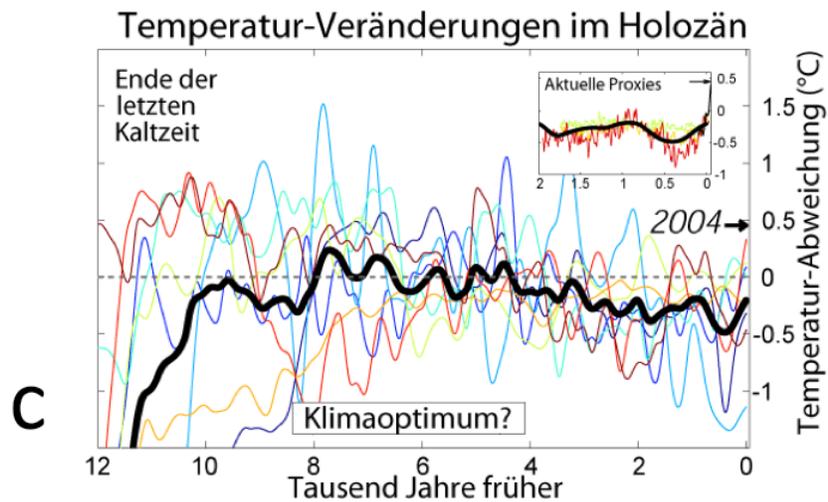
Fachleute sind sich einig, dass für das aktuelle weltweit zu beobachtende Artensterben und den Verlust der Biodiversität (genetische Vielfalt, Vielfalt der Arten und der Ökosysteme) die Eingriffe des Menschen in die Natur entscheidender sind als der Klimawandel. Zu nennen sind Umweltzerstörung, Ressourcenverbrauch, Rodung der Regenwälder, In-



a



b



c

Abbildung 5: Rekonstruktion des Temperaturverlaufs in den letzten 500 Millionen Jahren (a); pleistozäne Temperaturzyklen in den letzten 450.000 Jahren (b) und in den letzten 12.000 Jahren nach dem Ende der letzten Eiszeit (c). Temperaturminima fallen mit Eiszeiten zusammen (Quellen: Wikimedia Commons, Lizenz CC BY-SA 3.0; a: curid=34611466, b: curid=36854278, c: curid=1259100).

tensivierung der Landwirtschaft, Landverbrauch durch Siedlungen und Industrieanlagen oder Minen, Umweltgifte, direkte Nachstellung und Jagd, die direkt oder indirekt mit dem Wachsen der Weltbevölkerung im Zusammenhang stehen. Auch die Maßnahmen zur Generierung alternativer Energien, durch Talsperrenbau, Windkraft- oder Biogasanlagen zeigen schon jetzt negative Auswirkungen auf die Tierwelt, insbesondere Vögel und Fledermäuse. Martin Flade, ein engagierter Naturschützer, hat es in einem Vortrag auf der Jahrestagung der Deutschen Ornithologengesellschaft 2012 sinngemäß so ausgedrückt: „Augenblicklich leidet die Vogelwelt mehr unter Klimaschutzmaßnahmen als unter dem Klimawandel“ (Flade, 2013).

Wie bereits weiter oben ausgeführt, können Organismen ihr angestammtes Verbreitungsgebiet verlassen und neue Regionen erobern, nachdem sie dort durch Wanderung und Verdriftung angekommen sind. Seit wir Menschen neue Gebiete der Erde besiedeln, haben wir bewusst oder unbewusst Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen mit uns geführt in die neuen Lebensräume entlassen, in denen sie vorher nicht vorkamen. Wenn sich die eingeführten Arten etablieren können, sprechen wir von Neozoen bei Tieren und Neophyten bei Pflanzen (Nentwig, 2011). In unserer modernen Welt mit globalen Transportmitteln hat die Einfuhr fremder Organismen stark zugenommen. Es kann unbeabsichtigt sein, wie im Falle von pathogenen Keimen (Bakterien, Viren) oder Schadinsekten. Da wir Menschen Pflanzen und Tiere lieben und gerne in unserer Obhut halten, existiert seit Jahrhunderten ein intensiver Handel über Länder- und Kontinentgrenzen hinweg. Vielfach sind solche importierten Arten aus der menschlichen Obhut entkommen. Aber nur den wenigsten Arten gelang es, sich in freier Natur zu etablieren. Vielfach sind diese Neubürger inzwischen so gut angepasst, dass die wenigsten von uns sie noch als Einwanderer erkennen. Markante Arten der heimischen Fauna und Flora sind in Tabelle 1 zusammengestellt. In vielen Fällen wurde die vorhandene Biodiversität durch die Neubürger nachhaltig erhöht.

Wenn Neubürger sich stark vermehren und auffällig werden, erhalten sie häufig das Attribut „invasiv“. In der EU und einigen anderen Ländern läuft seit Jahren die Diskussion, ob invasive Organismen für die Biodiversität schädlich sind und ob man sie großflächig eliminieren sollte. Dabei ist jedoch zu beachten, dass auch viele unserer heimischen Tier- und Pflanzenarten sich wie invasive Arten verhalten; man denke an Brennnesseln oder Brombeeren. Ob es wirklich sinnvoll ist, alle aus unserer Sicht negativen Arten auszurotten, bedarf einer Einzelfallanalyse und einer gründlichen Abschätzung von potentiellen Nutzen und Schäden. Aus wissenschaftlicher Sicht wäre es möglicherweise spannender zu untersuchen, was diese erfolgreichen Neubürger auszeichnet, in unserer Welt so gut überleben zu können.

Die Neozoen und Neophyten sind heute teilweise eine Bereicherung, da früher heimische Arten durch die industrialisierte Landwirtschaft und Habitatverluste (Baumaßnahmen aller Art) verschwunden sind. Ich selbst habe fast 25 Jahre lang ein Kartierungsprogramm organisiert, in dem wir die Verbreitung der Vögel im Rheinland (Teil von Nordrhein-Westfalen) auf einer Fläche von 20.000 qkm zwischen 1974 und 1982 systematisch erfasst haben (Wink, 1987). Zwischen 1990 und 2000 haben wir die Kartierung wiederholt (Wink et al., 2005). Der Vergleich beider Kartierungen zeigt eine überraschend große Veränderlichkeit, sowohl in der Artenzusammensetzung als auch in ihrer relativen

Tabelle 1.1: Beispiele für erfolgreiche Neophyten in Mitteleuropa (aus Nentwig, 2011; Starke-Ottich et al., 2015).

Klasse	Art (Familie)	Herkunft
Neophyt	Ambrosia (<i>Ambrosia artemisiifolia</i> ; Asteraceae)	Nordamerika
	Drüsiges Springkraut (<i>Impatiens glandulifera</i> ; Balsaminaceae)	Zentralasien (Himalaja)
	Franzosenkraut (<i>Galinsoga quadriradiata</i> ; <i>G. parviflora</i> ; Asteraceae)	Südamerika
	Götterbaum (<i>Ailanthus altissima</i> ; Simaroubaceae)	Ostasien
	Immergrüne Mahonie (<i>Mahonia aquifolium</i> ; Berberidaceae)	Nordamerika
	Japan-Knöterich (<i>Fallopia japonica</i> ; Polygonaceae)	Ost-Asien
	Kanadische Goldrute (<i>Solidago canadensis</i> ; Asteraceae)	Nordamerika
	Kurzfrüchtiges Weidenröschen (<i>Epiobium brachycarpum</i> ; Onagraceae)	Nordamerika
	Nachtkerze (<i>Oenothera biennis</i> ; Onagraceae)	Nordamerika
	Riesenbärenklau (<i>Heracleum mantegazzianum</i> ; Apiaceae)	Kaukasus
	Robinie (<i>Robinia pseudacacia</i> ; Fabaceae)	Nordamerika
	Schmalblättriges Greiskraut (<i>Senecio inaequidens</i> ; Asteraceae)	Südafrika
	Topinambur (<i>Helianthus tuberosus</i> ; Asteraceae)	Nordamerika
	Traubenkirsche (<i>Prunus serotina</i> ; Rosaceae)	Nordamerika
Vielblättrige Lupine (<i>Lupinus polyphyllus</i> ; Fabaceae)	Nordamerika	

Häufigkeit (Abb. 6). In der Bilanz nahmen 33 Arten (20,2%) in ihren Beständen deutlich ab; dies betraf besonders Arten der intensiv genutzten Agrarlandschaft (Rebhuhn, Kiebitz, Haubenlerche, Feldlerche, Grauammer), Feuchtgebietsarten (Bekassine, Brachvogel, Uferschnepfe, Drosselrohrsänger, Rohrammer) und insektenfressende Zugvogelarten (Kuckuck, Brachpieper, Baumpieper, Gartenrotschwanz, Braunkehlchen, Steinschmätzer). Überraschend hoch lag der Anteil von 75 Arten (46%), die eine positive Arealveränderung aufweisen. Ähnlich positive Entwicklungen wurden auch in den Niederlanden, in der Schweiz und in Großbritannien nachgewiesen. Zu den Gewinnern zählen viele Wasservogelarten (Kormoran, Haubentaucher, Weißstorch, Schwarzstorch, Graureiher, Graugans, Schnatterente, Reiherente, Blässhuhn, Sturmmöwe, Mittelmeermöwe), einige Feuchtgebietsarten (Brandgans, Austernfischer, Teichrohrsänger), Greifvögel und Eulen (Wanderfalke, Uhu),

Tabelle 1.2: Beispiele für erfolgreiche Neophyten in Mitteleuropa (aus Nentwig, 2011; Starke-Ottich et al., 2015).

Klasse	Art (Familie)	Herkunft
Neozoon	Tigermücke (<i>Stegomyia albopictus</i> ; Culicidae)	Asien
Evertebraten	Maiswurzelbohrer (<i>Diabrotica virgifera</i> ; Chrysomelidae)	Amerika
	Asiatischer Marienkäfer (<i>Harmonia axyridis</i> ; Coccinellidae)	Südostasien
	Kartoffelkäfer (<i>Leptinotarsa decemlineata</i> ; Chrysomelidae)	Amerika
	Argentinische Ameise (<i>Linepithema humile</i> ; Formicidae)	Südamerika
	Pazifische Auster (<i>Crassostrea gigas</i> ; Ostreoidae)	Japanisches Meer
	Chinesische Wollhandkrabbe (<i>Eriocheir sinensis</i> ; Varunidae)	China
	Roter Amerikanischer Sumpfkrebs (<i>Procambarus clarkii</i> ; Cambaridae)	Amerika
	Varroa-Milbe (<i>Varroa destructor</i> ; Varroidae)	Asien
	Vertebraten	Schmuckschildkröte (<i>Trachemys scripta</i> ; Emydidae)
	Halsbandsittich (<i>Psittacula krameri</i> ; Psittacidae)	Indien
	Kanadagans (<i>Branta canadensis</i> ; Anatidae)	Nordamerika
	Amerikanischer Nerz (<i>Neovison vison</i> ; Mustelidae)	Nordamerika
	Bisamratte (<i>Ondatra zibethicus</i> ; Cricetidae)	Nordamerika
	Nutria (<i>Myocastor coypus</i> ; Echimyidae)	Südamerika
	Marderhund (<i>Nyctereutes procyonoides</i> ; Canidae)	Asien
	Waschbär (<i>Procyon lotor</i> ; Procyonidae)	Nordamerika

Waldvogelarten (viele Spechtarten, Winter- und Sommergoldhähnchen, Meisen, Kleiner, Baumläufer, Eichelhäher, Erlenzeisig, Kernbeißer) und Arten menschlicher Siedlungen (Mauersegler, Meisen, Rabenkrähe, Elster). Aber auch die Neozoen sind Gewinner, wie Kanadagans, Nilgans, Rostgans, Mandarinente und Halsbandsittich. Hier ist nicht der Platz, um die möglichen Gründe zu diskutieren (Wink et al., 2005). Wichtig ist jedoch im Zusammenhang dieses Artikels, dass sich die Biodiversität in wenigen Jahrzehnten dramatisch ändern kann. Und das hat sie vermutlich immer schon in den letzten 10.000 Jahren nach der Eiszeit, nur haben wir für die Frühzeit keine Unterlagen.

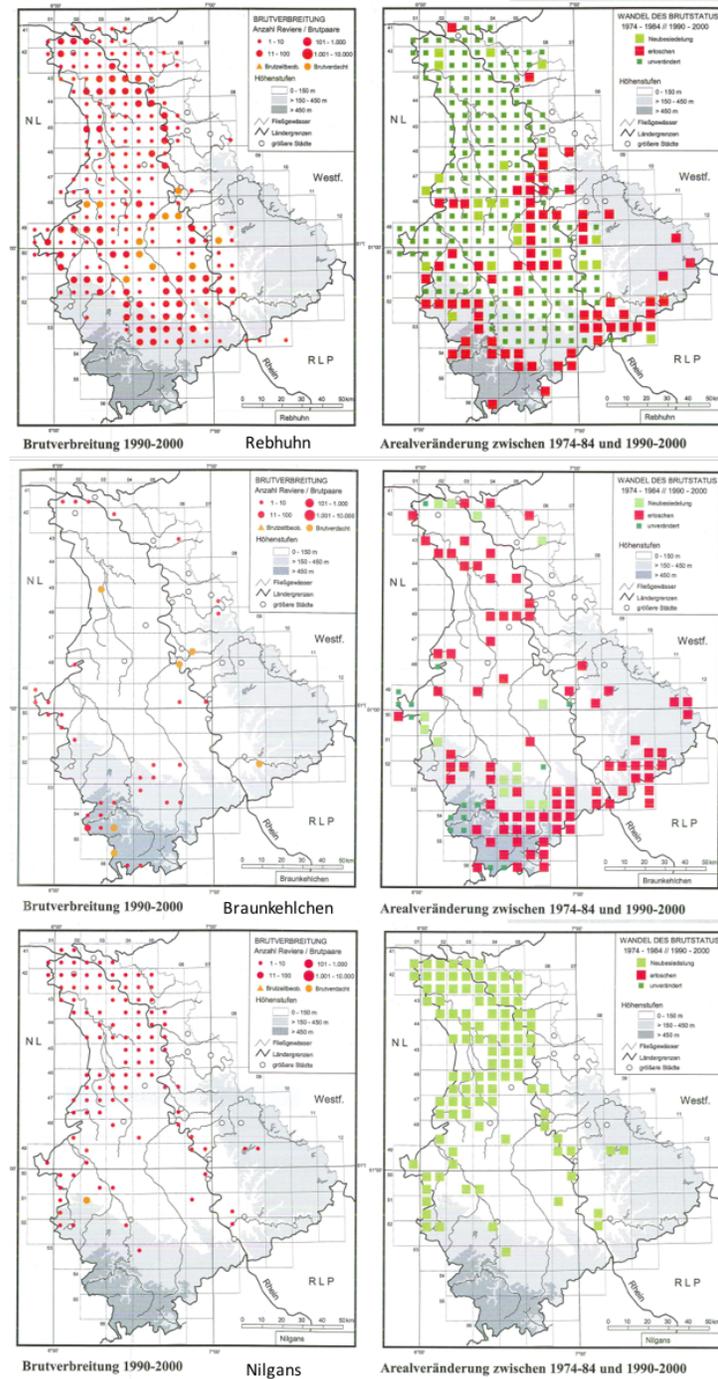


Abbildung 6: Vogelkartierung Rheinland (aus Wink et al., 2005). Die links stehenden Karten zeigen die Verbreitung von drei ausgewählten Brutvogelarten; die rechte Karte belegt die Veränderung der Verbreitung zwischen 1980 und 2000: Grüne Rasterflächen: neue Vorkommen; rote Raster: Vorkommen erloschen.

2.7 Veränderlichkeit sozialer und politischer Strukturen

Aber nicht nur Klima, die Erde und ihre Bewohner unterliegen einem steten Wandel, sondern auch alle Bedingungen und Strukturen des menschlichen Lebens. Viele Strukturen sind von uns Menschen geplant, andere entstanden eher zufällig. Ideen werden von uns ständig produziert, aber nur die Ideen, die sich bewähren, überleben und setzen sich durch. Damit unterliegen auch die Entwicklungen in unserer Kultur evolutionären Prozessen (Ridley, 2015). Die Erfolgsgeschichte des modernen Menschen, der heute die gesamte Erde besiedelt und extrem in die lebende und abiotische Umwelt eingreift (dieses neue Zeitalter soll Anthropozän genannt werden), ist nur verständlich, wenn wir uns mit den diversen Facetten der kulturellen Evolution und Kultur auseinandersetzen (Diamond, 2005; Roberts, 2011; Wilson, 2012; Storch et al., 2013).

Wichtige Schlüsselinnovationen von *H. sapiens* betreffen die Nutzung des Feuers, die Entwicklung von Sprache und mündlicher und schriftlicher Kommunikation, Werkzeuggebrauch, Häuser- und Städtebau, Domestikation von Nutztieren und Nahrungspflanzen. Die Innovationen, die sich bewährten, wurden beibehalten, die weniger brauchbaren vergessen; dies sind evolutionäre Prozesse im Bereich der Kultur, die stark vom Zufall und Wandel geprägt sind. Bewährte Innovationen standen meist am Anfang einer Entwicklung, die durch viele weitere technische Folgeinnovationen gekennzeichnet ist.

Erfindung des Feuers: Vor vermutlich 500.000 Jahren erfanden *H. heidelbergensis* und *H. neanderthalensis* das Feuer. Diese Innovation ermöglichte das Überleben in kalten Klimaten und unterstützte zudem den sozialen Zusammenhalt von Kleingruppen, die sich abends um ein Lagerfeuer versammelten, Geschichten erzählten und Erfahrungen weitergaben (Roberts, 2011; Storch et al., 2013). Feuer erlaubte das Kochen von Nahrung, das dadurch genießbar gemacht werden konnte, da Hitze pathogene Keime abtötet. Außerdem wurde zähes Fleisch (von alten Beutetieren) oder pflanzliche Nahrung (Samen, Wurzeln) durch Kochen weicher und damit auch für junge oder ältere Menschen zugänglich, deren Zähne nicht mehr voll funktionstüchtig waren. Viele Pflanzen produzieren toxische Sekundärstoffe, die sie als chemische Schutzmittel gegen Pflanzenfresser oder gegen Mikroorganismen nutzen (Wink, 1988). Durch Erhitzen können einige dieser Substanzen (z. B. Lektine, Trypsin-Inhibitoren) inaktiviert werden; durch Kochen in Wasser, das nachher abgegossen wird, können viele Gifte aus der Nahrung herausgelöst werden. Wurde anfänglich nur Holz verbrannt, kamen im Laufe der Zeit fossile Energiequellen wie Steinkohle, Braunkohle, Erdöl und Erdgas hinzu. Wenn wir heute Wärme und Hitze benötigen, so stammen diese teilweise noch aus Verbrennungsprozessen, vielfach jedoch aus Elektrizität, Sonnen-, Licht-, Wasser- oder Windenergie.

Sprache: Die Sprache zählt zum wichtigsten Alleinstellungsmerkmal des modernen Menschen. Tiere können zwar durch Laute miteinander kommunizieren: viele Tiere produzieren Warnlaute vor Feinden, die innerhalb der eigenen Art aber auch zwischenartlich verstanden werden. Sprache ist mehr als einfache Kommunikation und erlaubt das Tradieren von Erfahrung, Überlegungen und Wissen (Roberts, 2011; Storch et al., 2013). Die Fähigkeit, eine Sprache zu erlernen, ist beim Menschen angeboren. Welche Sprache gelernt wird, hängt vom Umfeld ab, in der ein Kind aufwächst. Sprache ist eine wichtige Schlüs-

selinnovation für ein intensives Zusammenleben von sozialen Gruppen; sie unterstützt den Gruppenzusammenhalt sowie Kooperation und Altruismus. Im Vergleich zu Tieren sind Menschen besonders kooperativ und altruistisch (Wilson, 2012; Wink, 2014b). Sprache ermöglicht uns Menschen aber auch, Erfahrung und Kenntnisse an andere Menschen innerhalb der Gruppe und über Gruppengrenzen hinweg weiterzugeben und ist daher ein Motor der kulturellen Evolution. Sprachfähigkeit, die möglicherweise mit einer besonderen Ausprägung des FOXP2-Gens einhergeht, gab es vermutlich auch schon beim Neandertaler. Da sich *H. sapiens* und *H. neanderthalensis* vor mehr als 450.000 Jahren von einem gemeinsamen Vorfahren (*H. heidelbergensis*) abgeleitet haben, könnte auch schon dieser Vorfahre eine gewisse Sprachfähigkeit besessen haben (Roberts, 2011; Storch et al., 2013). Von den vielen lokal verwendeten Sprachen haben sich wenige Weltsprachen durchgesetzt, die es uns Menschen heute erlauben, global miteinander zu kommunizieren. Unter Zuhilfenahme von technischen Hilfsmitteln (Telefon, Skype etc.) können heute mehrere Menschen gemeinsam über große Entfernungen hinweg kommunizieren. Aber auch das weltweit verbreitete Fernsehen und Internet haben die Kommunikation in einem Maße verändert, wie man es sich vor 50 Jahren nicht hätte vorstellen können.

Schrift: Unsere Fähigkeit, Wissen, Ideen, Erfahrung und Erkenntnisse schriftlich zu fixieren, ist eine vergleichsweise junge Kulturtechnik. Für die kulturelle Evolution war die Erfindung der Schrift neben der Sprache von großer Bedeutung, denn Schriften bedürfen nicht länger des unmittelbaren Kontakts zwischen Sprechenden; sie ermöglichen die Tradierung von Informationen über Gruppen, Länder und Epochen hinweg. (Diamond, 2005, 2011; Roberts, 2011; Storch et al., 2013). Die Schrift entstand zuerst in der Bronzezeit vor 5400 Jahren im Zweistromland, wo Tonscherben mit Keilschrift gefunden wurden. Spätere Schriftenformen wurden in der Bronze- und Eisenzeit auch in Ägypten (Hieroglyphen), in den arabischen Ländern und im antiken Griechenland erfunden. Die Entwicklung moderner Kommunikationsmittel vom Telefon zum Handy und den damit verbundenen immensen Kontakt- und Kommunikationsmöglichkeiten (Facebook, Email etc.) ist von einem rasanten Tempo, aber auch von Wandel, Veränderlichkeit und Selektion gekennzeichnet.

Steinwerkzeuge: Paläoanthropologen, die einen Fossilfund der Gattung *Homo* zuordnen wollen, nehmen das Vorhandensein von Steinwerkzeugen als zentrales Indiz (Roberts 2011; Storch et al., 2013). Die Australopithecinen und andere frühere Vorläufer der Menschen wussten offenbar noch nicht, wie man Abschläge von Steinen herstellt, um sie als Chopper, Faustkeile oder Schaber einzusetzen. Vermutlich haben sie außerdem ganze Steine eingesetzt, um Knochen oder Nüsse aufzuschlagen; diese Fähigkeit wurde auch bei Menschenaffen in freier Wildbahn beobachtet. Dadurch ist Werkzeuggebrauch keine Eigenschaft, die nur wir Menschen besitzen. Steinwerkzeuge wurden über die Jahrtausende verfeinert, um daraus nicht nur einfache Faustkeile und Schaber (im Oldowan), sondern geschliffene Speer- und Pfeilspitzen, Äxte und Feuersteine herzustellen (ab Acheuléen). Steinwerkzeuge wurden nicht nur in der Steinzeit, sondern auch noch in der Bronze- und Eisenzeit genutzt, manche Eingeborenenvölker setzten Steingeräte sogar noch im 20. Jahrhundert ein (z. B. in Neuguinea; Diamond 2005, 2012). Da Steinwerkzeuge nicht so vielfältig eingesetzt werden konnten wie aus Metall hergestellte Werkzeuge, waren sie aus heutiger Sicht nur eine wichtige Zwischenstufe.

Metallverarbeitung und Kunststoff: Bereits im Neolithikum lernten die Menschen, wie man Metalle verarbeitet und aus ihnen Messer, Beile, Äxte, Waffen, Kessel, Becher und Schmuckgegenstände herstellen kann (Diamond, 2005; Roberts, 2011; Storch et al., 2013). Zunächst wurden Gold und Kupfer verarbeitet (in der sogenannten *Kupferzeit*). Anfänglich wurden Metalle kalt verarbeitet, in der Bronzezeit lernte man, Metallerze zu erhitzen und in gewünschte Formen zu gießen. Eine Mischung von Kupfer mit Zinn führte zu einem festeren Metall, der Bronze. Vor 3100 Jahren wurde Bronze langsam durch Eisen als neues Metall ersetzt (Eisenzeit). Eisen ist bis heute das wichtigste Ausgangsmaterial zur Herstellung von Werkzeugen, Waffen, Haushaltsgegenständen, Schmuck und anderen Gerätschaften geblieben. Die Verwendung von Metall ist ein Alleinstellungsmerkmal des *Homo technologicus*, wie wir uns manchmal auch nennen. Seit 100 Jahren kam Plastik als neuer und versatiler Werkstoff zur Anwendung und hat Eisen als Material vielfach ersetzt.

Kunst: Erste künstlerische Aktivitäten in Form von *Felsmalereien*, Ritzzeichnungen, Schnitzereien, Musikinstrumente (Knochenflöten), die in dieser Form im Tierreich unbekannt sind, kennt man aus der Zeit vor 40.000 Jahren. Betrachtet man die Kunst über die letzten Jahrtausende und über Kulturen hinweg, so erkennt man eine immense Vielfalt, aber auch einen steten Wandel der Techniken und der Vorlieben.

Häuser- und Städtebau: Menschen lebten bis vor wenigen tausend Jahren noch in Höhlen, wo sie Schutz vor Raubtieren und Kälte fanden, aber auch in Holz- und Fellhütten, die Sammler und Jäger auf ihren Wanderungen mitführen konnten. Nach Ende der letzten Eiszeit vor rund 11.000 Jahren (am Ende des Mesolithikums insbesondere im Neolithikum) und vermehrt vor 7000 Jahren beginnt der Bau von festen Hütten und Häusern aus Lehm oder Stein (Diamond 2005; Roberts 2011; Storch et al., 2013). Damit findet ein Übergang von Jägern und Sammlern zu Ackerbauern statt. Die Sesshaftigkeit war vom Erfolg der Landwirtschaft und der Domestikation von Tieren und Pflanzen abhängig, denn nur so konnten viele Menschen ernährt werden, die eng in größeren Gemeinschaften zusammenlebten. In den permanenten Siedlungen entwickelten sich bald hierarchisch organisierte Machtstrukturen mit einem Häuptling oder König an der Spitze. Außerdem führte die Sesshaftigkeit zu Arbeitsteilung und Schaffung von komplexen Verwaltungsstrukturen. Häuser- und Städtebau wurden damit zum Motor der neolithischen Revolution, die vielfältige Innovationen zur Folge hatte. Diese Entwicklung ist auch heute noch nicht abgeschlossen; durch den Einsatz von Beton ist es heute leicht, schnell sehr große Bauten fertigzustellen. Innerhalb von wenigen 100 Jahren entstanden Mega-Cities mit über 10 Millionen Bewohnern, die ganz neue Herausforderungen und Veränderungen der Umwelt mit sich bringen. Diese sozialen Strukturen waren nicht geplant, sondern entstanden evolutiv (Ridley, 2015) und unterlagen und unterliegen einem kontinuierlichen Wandel.

Domestikation von Tieren und Pflanzen: Wie erwähnt, war die Domestikation von Haustieren und Pflanzen eine wichtige Voraussetzung für die Sesshaftigkeit (Diamond, 2005; Roberts, 2011; Storch et al., 2013). Aber nur wenige Tierarten haben sich zähmen lassen (z. B. Hund, Schaf, Ziege, Rind, Pferd, Esel, Schwein) und nur wenige Pflanzen enthalten ausreichend Nährstoffe (Getreide, Hülsenfrüchte), um aus ihnen brauchbare Nahrungspflanzen zu züchten. Viele Wildpflanzen enthalten giftige oder unbedenkliche

Sekundärstoffe, die ursprünglich gegen Pflanzenfresser gerichtet sind. Durch direkte Selektion ist es den Menschen schon früh gelungen, Pflanzen zu entdecken und zu vermehren, deren Giftgehalt niedriger lag (Wink, 1988). Besonders erfolgreich war der Nahe Osten im sogenannten „fruchtbaren Halbmond“. Die Domestikation von Tieren und Pflanzen erfolgte im Neolithikum nicht nur im Nahen Osten, sondern parallel auch im restlichen Asien und in Amerika, insbesondere in Mexiko und Mittelamerika. Aber nur wenige Arten wurden in Australien und in Afrika domestiziert (Diamond, 2005; Roberts, 2011; Storch et al., 2013).

Die Domestikation von Pflanzen und Tieren ist bis heute noch nicht abgeschlossen. Pflanzen- und Tierzüchter arbeiten weltweit daran, neue Sorten und Varietäten zu züchten, die schneller wachsen, höhere Erträge bringen und weniger anfällig für Krankheiten sind. Innerhalb der Arten kann man einen schnellen Wechsel der diversen Sorten und Varietäten beobachten. Die seit über 30 Jahren entwickelte Gentechnologie hat dazu beigetragen, Kulturpflanzen und Tiere mit neuen Eigenschaften auszustatten. Diese in Deutschland abgelehnte Entwicklung ist weltweit auf dem Vormarsch und wird zukünftig sicher intensiviert werden, da neuartige Verfahren entwickelt werden, mit denen man schneller genetische Eigenschaften ändern kann (augenblicklich wird das CRISPR-CAS-Verfahren als neue Revolution gefeiert).

2.8 Das Anthropozän – der Mensch verändert seine Umwelt

Bereits in der Steinzeit griffen wir Menschen in die Ökologie unseres Planeten ein. Für das Aussterben der Großsäugetiere (Megafauna) am Ende der letzten Eiszeit in Europa, Asien, Amerika und Australien wird häufig die Jagd angesehen, vermutlich im Zusammenspiel mit einem signifikanten Klimawandel. Mit dem Abschmelzen der kilometerdicken Eisschicht in der Nordhemisphäre kam es zu einem Anstieg der Meeresspiegel um 120 m (die heutige Doggerbank war vor 30.000 Jahren noch eine große Nordseeinsel) und einer Absenkung der Salinität des Meereswassers. Immer wenn Menschen Inseln (z. B. in Ozeanien, Neuseeland, Hawaii) neu besiedelten, kam es regelmäßig zu einer Ausrottung der dort endemischen Tierwelt. Eine weitere umweltschädigende Tätigkeit war die Brandrodung, mit der Wälder abgebrannt und in Gras- und Kulturlandschaften umgewandelt wurden. In Europa wurde die Steppentundra nach der Eiszeit (vor 12.000 Jahren) von Laubmischwäldern abgelöst (Behringer, 2014). Diese Wälder wurden jedoch schon bald abgebrannt und abgeholzt, so dass offene Landschaften entstanden, die wir heute als „natürlich“ ansehen. Das bringt ein Dilemma für Natur- und Landschaftsschutz. Was wollen wir schützen? Die ursprünglichen Landschaften oder die von uns Menschen geschaffene Kulturlandschaft?

Seit Beginn der Industrialisierung (um 1800) haben die Eingriffe des Menschen in die biologischen, geologischen und atmosphärischen Prozesse der Erde extrem zugenommen. Diese neue Phase soll auch als *Anthropozän* (Zeitalter des Menschen) bezeichnet werden (einige Wissenschaftler lassen das Anthropozän mit der neolithischen Revolution beginnen). Die industriellen Aktivitäten führen zunehmend zu einem Verlust von natürlicher

Vegetation durch Intensivierung der Landwirtschaft, dem Abholzen von Regenwäldern, einer Zunahme der Umweltgifte, Treibhausgase und Sedimente und einer Ansäuerung der Ozeane.

Die veränderten Umweltbedingungen haben bereits heute zu einer Verarmung der Biodiversität und einer Abnahme diverser Pflanzen- und Tierarten geführt. Man vermutet beispielsweise, dass rund 34.000 Arten (darunter 12 % der Vogelarten, 20 % der Säugetiere und 29 % der Amphibien) vom Aussterben bedroht sind. Bewohner von Inseln und Habitaten mit geringer ökologischer Pufferkapazität sind besonders betroffen, da die Populationen der betroffenen Arten häufig klein sind. Wie weiter oben diskutiert, gab es im Verlauf der Erdgeschichte schon mehrfach Massenaussterben. Im Unterschied zu den alten Aussterbe-Ereignissen spielt heute der Mensch eine entscheidende Rolle, da er global und zunehmend Raum und Ressourcen verbraucht. Dies steht natürlich mit der wachsenden Weltbevölkerung im Zusammenhang. Lag die Bevölkerung vor 10.000 Jahren bei vermutlich 5 Millionen Menschen, kam es in der Folgezeit zu einem exponentiellen Wachstum, das auch heute noch anhält. Zu Beginn des Industriezeitalters (um 1800) wurde erstmals die 1-Milliarden-Marke erreicht; um 1900 gab es schon 1,6 Milliarden Menschen, 1950 2,4 Milliarden und 2010 6,8 Milliarden. Nach Hochrechnungen wird es im Jahre 2100 14 Milliarden Menschen geben, wenn die Entwicklung linear weiter verläuft. Es gibt jedoch auch Szenarien, nach denen sich das Tempo verlangsamt, so dass es um 2100 vielleicht 9 oder nur 6 Milliarden Menschen geben wird.

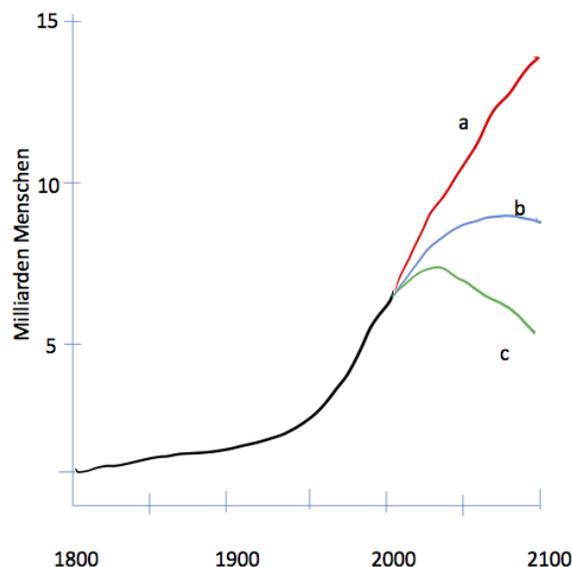


Abbildung 7: Wachstum der Menschheit in den letzten 300 Jahren. Bestes Szenario aus ökologischer Sicht (c), wahrscheinliche Entwicklung (b) und lineare Entwicklung (a).

Man benötigt keine große Fantasie, um eine weitere Beeinträchtigung der Natur und der Umwelt vorherzusagen. Zu nennen sind eine zunehmende Verunreinigung von Gewässern auf dem Festland und in den Meeren mit Umweltgiften, Öl und Plastikresten. Hinzu kommen eine dramatische Überfischung der Ozeane und die Vernichtung von vielen

Korallenriffen. Die Zunahme des CO₂-Gehalts in der Erdatmosphäre und in den Meeren führt vermutlich zu einer globalen Erwärmung und der Versauerung der Ozeane. Durch Freisetzung von Fluorkohlenwasserstoffen (FCKW) aus Kühlmitteln kam es zu einer Zerstörung der schützenden Ozonschicht in der Stratosphäre. Das Ozonloch der Antarktis ist inzwischen jedoch wieder kleiner geworden, nachdem viele FCKWs verbannt wurden. Das gewaltige Anwachsen der menschlichen Bevölkerung blieb und bleibt nicht ohne Folgen: Ressourcen an Nahrung, Energie und Raum werden zunehmend knapper. In Folge kommt es zu einer weiteren Zerstörung der Natur, einem Verlust von Lebensräumen, zu einem Aussterben von vielen Pflanzen und Tieren und zu kriegerischen Auseinandersetzungen zwischen Ethnien und Staaten (Diamond, 2005; Storch et al., 2013).

2.9 Veränderung und evolutionäre Prozesse auch in Wirtschaft, Politik und Gesellschaft

Ridley (2015) ist Evolutionsbiologe, aber auch Politiker (mit Sitz im britischen Oberhaus) und Banker. Ausgehend von den Grundlagen der biologischen Evolution, die auf zufälliger Entstehung von Variabilität und Selektion beruht, bei der nur die Varianten erfolgreich sind, die sich besonders gut an die Umweltbedingungen angepasst haben, analysiert er eine Vielzahl an soziologischen, politischen und wirtschaftlichen Themen. Themen sind Geist, Persönlichkeit, Moral, Religion, Kultur, Ökonomie, Geldwirtschaft, Technologie, Erziehung, Regierung und Leitungsstrukturen sowie das Internet. Alle diese Themen sind seiner Meinung nach nicht top-down-gesteuert, sondern unterliegen zunächst zufälligen Variationen, die von einzelnen Menschen entwickelt wurden, um anstehende Aufgaben zu lösen. Diese unterschiedlichen Ideen und Konzepte müssen sich im Leben bewähren; was ungeeignet ist, wird schnell wieder verschwinden, während erfolgreiche Konzepte weitergeführt werden. Er sieht in der kulturellen Evolution das Prinzip Zufall und Selektion und damit ein stetes Werden und Vergehen von Konzepten und Modellen, ähnlich wie wir es für die physische Welt und belebte Natur (Evolution) diskutiert haben. Das heißt auch im Bereich der Kultur und der kulturellen Evolution gilt „panta rhei“.

2.10 Ausblick

Veränderlichkeit, Werden und Vergehen und nicht Stabilität kennzeichnen unsere Welt. Werden und Vergehen erleben wir aber auch im persönlichen Bereich; Geburt und Tod sind Kennzeichen unseres Lebens, das wir mit allen anderen Lebewesen teilen. Dennoch ziehen es viele Menschen vor, von einer determinierten und steuerbaren Welt auszugehen, die sinnhaftig ist und nicht vom Zufall, sondern von einem Gott oder einer höheren Macht regiert wird.

Wie oben ausgeführt, steht unser Planet vor großen Herausforderungen und Problemen, die teilweise von uns selbst verursacht wurden. Da der moderne Mensch schon so viele Gefahren und Bedrohungen erfolgreich bestanden hat, wird ein Optimist hoffen, dass auch die zukünftigen Probleme und Herausforderungen gemeistert werden können,

denn die kulturelle Evolution bleibt ja nicht stehen und Innovationen werden weiterhin exponentiell erfolgen (Ridley, 2010, 2015). Dennoch müssen wir die Verantwortung für den Planeten Erde mit all seinen Lebewesen übernehmen. Es liegt an uns, ob wir unsere Umwelt und Biodiversität für unsere Nachkommen erhalten wollen und können. Wichtig ist jedoch bei allen Überlegungen und Maßnahmen, dass wir von einer sich wandelnden und nicht statischen Welt ausgehen müssen.

Literatur

- Behringer, W. (2014): Kulturgeschichte des Klimas. Von der Eiszeit bis zur globalen Erwärmung. 4. Aufl. DTV, München
- Diamond, J. (2005): Guns, Germs and Steel. A Short History of Everybody for the Last 13,000 years. Vintage, London
- Diamond, J. (2011): Collapse, How Societies Choose to Fail or Succeed. Penguin Group, New York
- Diamond, J. (2012): The World until Yesterday. Penguin Group, New York
- Fischer, F., Schneider, H. (2013): Planet 3.0-Klima-Leben-Zukunft. Kleine Senckenberg-Reihe, Frankfurt
- Flade, M. (2013): Von der Energiewende zum Biodiversitäts-Desaster – zur Lage des Vogelschutzes in Deutschland. Vogelwelt 133: 149–158
- Glaser, R. (2013): Klimageschichte Mitteleuropas. 1200 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen. 3.Aufl. Primus-Verlag, Darmstadt
- Grebel, E. (2014): Evolution des Universums. In: Evolution – Studium Generale, Universität Heidelberg; K. Sonntag, Hrsg.; pp. 143–162, Universitätsverlag Winter, Heidelberg
- Kunz, W. (2014): Die Entstehung der Arten – Zufall und Vorhersagbarkeit. In: Evolution – Studium Generale, Universität Heidelberg; K. Sonntag, Hrsg.; pp. 29–41, Universitätsverlag Winter, Heidelberg
- Nentwig, W. (2011): Unheimliche Eroberer: Invasive Pflanzen und Tiere in Europa. Haupt-Verlag, Bern
- Reichholf, J.H. (2007): Eine kurze Naturgeschichte des letzten Jahrtausends. S. Fischer, Frankfurt
- Ridley, M. (2010): The Rational Optimist. How Prosperity Evolves. Fourth Estate, London
- Ridley, M. (2015): The Evolution of Everything – How New Ideas Emerge. HarperCollins Publishers, New York
- Roberts, A. (2011): Evolution. The Human Story. Dorling Kindersley, London

- Starke-Ottich, I., D. Bönsel, T. Gregor, A. Malten, C. Müller, G. Zizka (2015):
StadtNatur im Wandel – Artenvielfalt in Frankfurt am Main. E. Schweizerbart'sche
Verlagsbuchhandlung, Stuttgart
- Storch, V., Welsch, U., Wink, M. (2013): Evolutionsbiologie. 3. Auflage;
Springer-Spektrum, Heidelberg
- Wilson, E.O. (2012): The Social Conquest of Earth. W.W. Norton & Co., New York
- Wink, M. (1987): Die Vögel des Rheinlandes. Bd. 3, Atlas der Brutvogelverbreitung im
Rheinland, Kilda-Verlag, Greven
- Wink, M. (1988): Plant breeding: Importance of plant secondary metabolites for
protection against pathogens and herbivores. Theoretical Applied Genetics 75,
225–233
- Wink, M. (2014a): Dynamik und Veränderlichkeit des Lebens. In: Welche Natur
brauchen wir? Analyse einer anthropologischen Grundproblematik des 21.
Jahrhunderts (G. Hartung, T. Kirchhoff, Hrsg.), pp. 207–221, Alber Verlag,
Freiburg
- Wink, M. (2014b): Gewalt und Altruismus aus evolutionärer Sicht. In: Evolution -
Studium Generale, Universität Heidelberg; K. Sonntag, Hrsg.; pp. 81–110,
Universitätsverlag Winter, Heidelberg
- Wink, M., Dietzen, C., Giessing, B. (2005): Die Vögel des Rheinlandes (Nordrhein). Ein
Atlas der Brut- und Wintervogelverbreitung 1990–2000. Beiträge zur Avifauna
Nordrhein-Westfalens, Bd. 36; Romneya Verlag, Dossenheim

Über den Autor

Prof. Dr. Michael Wink studierte Biologie und Chemie an der Universität Bonn. Nach Stationen in Braunschweig, Köln, München und Mainz arbeitet er seit 1989 als Ordinarius für Pharmazeutische Biologie an der Universität Heidelberg. Seine Arbeitsgebiete sind vielfältig und reichen von Phytochemie, Sekundärstoffwechsel, Arznei- und Giftpflanzen bis zur Systematik, Phylogenie und Evolutionsforschung. Er ist Autor/Co-Autor von mehr als 20 Büchern und über 700 Originalpublikationen.

Korrespondenz:

Prof. Dr. Michael Wink
Universität Heidelberg
Institut für Pharmazie & Molekulare Biotechnologie (IPMB)
Im Neuenheimer Feld 364
69120 Heidelberg
E-Mail: wink@uni-heidelberg.de
Homepage: https://www.researchgate.net/profile/Michael_Wink
<http://www.uni-heidelberg.de/institute/fak14/ipmb/phazb/akwink.html>