EVOLUTION

Ein Fortschritt wissenschaftlichen Denkens

"Nichts in der Biologie ergibt einen Sinn ausser im Licht der Evolution."
(Theodosius Dobzhansky, 1973)

ab 400 v. Chr.

Antike Philosophen denken über den Ursprung des Lebens nach.

Die Pfeile weisen auf unterschiedliche Zusammenhänge zwischen den Theorien hin, welche von direkten Einflüssen bis entfernt intellektuellen Beziehungen reichen.

Der Kampf ums Überleben
"Umweltfaktoren beeinflussen die Entstehung neuer Eigenschaften der Lebewesen, die sich daraufhin in neue Arten verwandeln. Lebewesen, die überleben und sich fortpflanzen können, geben ihre neuen Eigenschaften an ihre Nachkommen weiter."
(Al Jahiz, Buch der Tiere, 9.J.h.)
Klingt stark nach

Der Affe als Vorfahre
Der Mensch stammt von "der Welt der Affen" ab.
(Ibn Khaldun, Muqaddimah, 1377)

Daoismus
Die Natur befindet sich in einem Zustand steter Veränderung, im 'Dao'. Arten können sich als Reaktion auf ihre Umwelt verändern.
(Laozi)

Scala Naturae- Stufenleiter des Lebens
Lebensformen sind hierarchisch angeordnet - komplexe Organismen befinden sich weiter oben auf der Leiter.
(Plato, Aristoteles)
Christen: Gott ist an der Spitze der Leiter.

Spontanzeugung
Lebewesen entstehen aus unbelebter Materie.
(Aristoteles)
Magisch! Oder auch nicht.

Natürliche Theologie
Irreduzible Komplexität z.B. die Gestalt des menschlichen Auges. Gestalt braucht einen Gestalter – Gott.
Wer ist der Gestalter?

9.-13.J.h.

Gelehrte des Mittleren Ostens entwerfen bereits Jahrhunderte vor Darwin Vorläufer der Evolutiontheorie – jedoch fehlen Beweise.

18.-19.J.h.

Mit der Aufklärung in Europa sucht die Wissenschaft nach naturalistischen Erklärungen für die Diversität des Lebens. Zum ersten Mal wird Evolution erwähnt.

Die Erde ist alt
Belege aus Gesteinen lassen vermuten, dass die Erde älter als ein paar tausend Jahre ist.
(James Hutton)
Wir wissen, dass die Erde for 4.54 Milliarden Jahren enstanden ist.

Der Mensch stammt vom Primaten ab
Der Menschenaffe ist "der Bruder des Menschen".
(Lord Monboddo)
Beweise?

Veränderung über Generationen
Natürliche Veränderungen häufen sich über Generationen an, was zu neuen Rassen und Arten führt.
(Pierre Louis Maupertuis)

Das Prinzip der Homologie und Analogie
Organismen weisen Ähnlichkeiten auf und evolvieren so natürlicherweise.
(Richard Owen)

Taxonomie
Klassifikation der Arten. > 10,000 von Carl Linnaeus benannt.

Gott ist nicht notwendig
Denis Diderot beschreibt in seinem "Brief über die Blinden zum Gebrauch der Sehenden" (1749), dass Evolution ohne Gott möglich ist – wofür er ins Gefängnis geht.

Paleys Uhr
Ähnlich einer exquisit gestalteten Uhr, ist die Welt zu komplex um keinen Erschaffer zu haben.
(William Paley)

Malthusianismus
Die Natur hemmt die Populationsgrösse durch Krankheiten, Krieg, Hungertod und andere Katastrophen.
(Thomas Malthus)

Katastrophismus
Evolution passiert nicht allmählich. Unveränderliche Arten entstehen und sind perfekt an ihre Umwelt angepasst, können jedoch auch aussterben.
(Georges Cuvier)

Aktualismus
Die Erde als ganzes verändert sich allmählich.
(Charles Lyell)

Transmutation
Fossile Funde weisen graduelle Veränderungen von frühen bis späteren Arten auf
(Robert Grant)
a) durch mysteriöse 'innere Kraft'
(Jean Baptiste Lamarck)
b) durch die Umwelt
(Etienne Geoffroy St Hilaire)

Lamarcksche Evolution
Giraffen strecken ihren Hals um an höhere Blätter zu gelangen. Ihre Nachkommen erben längere Hälse.
(Jean-Baptiste Lamarck)
Aber Lamarck lag falsch, da

Oder doch nicht?

Das Prinzip der Variation
Die am schlechtesten angepassten Individuen "neigen meist dazu, zu sterben".
(James Hutton)

Natürliche Selektion: die Vorläufer
Erasmus Darwin, Grossvater Charles Darwins und Francis Galtons: "Das stärkste und aktivste Tier sollte die Art hervorbringen, welche dann verbessert werden würde".
(Edvromia, 1794)

Überleben der Stärksten
... und die Stärksten können am besten überleben.
(Herbert Spencer, nachdem er Malthus las)

Biogeographie
Unterschiedliche Regionen haben unterschiedliche Arten.
(Comte de Buffon)
Warum?

Separations-theorem
Kleinere Kolonien wandern aus Populationen in andere Regionen ab, wo sie schliesslich zu neuen Arten werden.
(Moritz Wagner)
Entwickelte sich zu

Das Prinzip von Divergenz
Was in Darwins Autobiographie beschrieben wird als "die Tendenz organischer Lebewesen vom selben Stamm sich charakterlich zu divergieren, während sie sich verändern." Warum? Der Kampf um Ressourcen ist zwischen nahe Verwandten stärker, deshalb spalten sie sich entzwei.

Physiologische Selektion
Variation akkumuliert in unterschiedlichen Populationen. Auf einmal können sich Individuen nur noch innerhalb ihrer eigenen Population vermehren. Die Population spaltet sich in unterschiedliche Arten.
(George Romanes)

Sexuelle Selektion
Männchen unterscheiden sich in ihrer Fähigkeit Nachkommen zu zeugen, was zu körperlichen Unterschieden zwischen den Geschlechtern führt – Pfauenhahn und Pfauenhenne.
(Charles Darwin)
Aber wozu der lange Schwanz?

Natürliche Selektion
Nützliche Anpassungen (Tarnung, der Schnabel des Spechts), welche es dem Organismus ermöglichen mehr Nachkommen zu zeugen als andere, werden mit der Zeit häufiger vorkommen. Allmählich verändert sich die gesamte Population.
(Charles Darwin)
Heureka! Aber womit?

Vererbung
Eine Generation gibt ihre Eigenschaften an die nächste weiter.
Wie?

Blending Theorie
Nachkommen sind das Produkt von Vermischung der elterlichen Formtypen. 1 grosses Elternteil + 1 kleines Elternteil = ein mittelgrosser Nachkomme.
(Charles Darwin)
Wie funktioniert dies?

Gemmula
Charles Darwins hypothetische Erbschaftspartikel, die im Blut vorkommen.
Später teilweise verifiziert
Jedoch

1859

Charles Darwins "Über die Entstehung der Arten" wird zum ersten Mal publiziert, ein Meilenstein der Evolutionstheorie.

1860er

Gregor Mendel vermutet eine Einheit der Vererbung, heute Gene genannt, – verknüpft dies jedoch nicht mit der Evolution.

Mendels Erbsen
Kreuzungen zwischen weissen und lilanen Blüten der Erbse bringen 3mal soviele lila-blühende Nachkommen hervor. Warum? Weil Erbanlagen als dominant-rezessive Paare auftreten. Falls vorhanden – in 75% der Fälle – verdeckt die dominante lila Blütenfarbe den rezessiven weissen.
(Gregor Mendel)
Führte zur Theorie

Mendelsche Vererbung
Nachkommen erben eine Genvariante eine jedes Elternteils, unabhängig von welchem Gen, falls diese nicht gekoppelt sind.

Keimplasma-theorie
August Weismann schnitt 1500 Ratten die Schwänze ab, jedoch wurden selbst nach 20 Generationen alle Nachkommen mit Schwänzen geboren. Fazit: nur spezielle 'Keimplasmazellen' sind für die Vererbung zuständig und nicht normale Körperzellen.
Jedoch

Galtons Kaninchen
Experimente mit Kaninchen zeigen, dass 'Gemmulae' im Blut nicht existieren und nicht durch Transfusion übergeben werden können.
(Francis Galton)

1880-1920

Die Eklipse des Darwinismus:
Evolution ist weitgehend anerkannt, niemand ist jedoch wirklich sicher wie sie genau funktioniert.

Biogenetische Grundregel
Ontogenie rekapituliert Phylogenie: Die Entwicklungsstadien zum Erwachsenenalter eines Organismus vollziehen die Evolutionsstadien seiner Art nach.
(Ernst Haeckel)
Bis auf dass

Beobachtungen am Embryo
"Der Embryo eines Vertebraten ist bereits ein Vertebrat" – d.h. Ontogenie rekapituliert die Phylogenie nicht.
(Karl Ernst von Baer)
Obwohl

Makromutations-theorie
Variation entsteht durch Mutation. Grosse Mutationen bringen neue Arten hervor.
(Hugo de Vries, Otto Schindewolf)

Mendels Erbsen: wieder auferlebt
Mendels Experimente mit Erbsen werden wiederentdeckt und repliziert.
(Hugo de Vries, Carl Correns)

1900-1960

Die Synthetische Evolutionstheorie und ihre Konsequenzen:
Theoretiker formulieren mathematische Erläuterungen über die Evolution, wobei sie Ideen von Darwin und Mendel kombinieren.

Mendelsche Regeln
"Der wichtigste Faktor der Evolution ist das Auftreten vorteilhafter Mutationen [...] Natürliche Selektion dient blos als Sieb um vorteilhafte Mutationen zu behalten und schädliche zu eliminieren."
(T. H. Morgan)
Widerspricht sich mit

Fishers Mikroskop
Während die Population auf ein phänotypisches Optimum zusteuert, werden Mutationen kleiner und kleiner, wie bei der Feinstellung eines Mikroskops.
(R. A. Fisher)
Im Gegesatz zu
Getestet in der freien Natur

Quantitative Genetik
Variation im Phänotyp sind das Produkt der Gene + Umwelt. Bahnt den Weg zur modernen Evolutionstheorie und Populationsgenetik.
(R. A. Fisher)

Biometrie
Kontinuirliche Eigenschaften wie Grösse und Gewicht wurden statistisch untersucht um den Zusammenhang zwischen Genen (Genotyp) und wie etwas aussieht (Phänotyp) zu verstehen.
(Francis Galton, Raphael Weldon, Karl Pearson)

Gendrift Theorie
Die Evolution kann verschiedene Lösungen für dieselben Herrausvorderungen der Umwelt finden.
(Sewall Wright)

Sozialdarwin-ismus
Die Übertragung von Ideen über Evolution auf das Sozialwesen. Erweckte Eugenie – die Idee dass die menschliche Rasse genetisch 'verbessert' werden könnte.
(Herbert Spencer, Francis Galton)
MORALISCH VERURTEILT

Dobzhansky-Muller Model
Genetische Veränderungen, die sich in einer Population anhäufen, sind nicht garantiert kompatibel. Dies erklärt, warum manche Kreuzungen wie das Maultier steril sind oder gar sterben können.
(Theodosius Dobzhansky, Hermann Muller)
Sagt vorraus

Geographische Arbildung
Geographische Grenzen wie Ozeane und Gebirge können Populationen voneinander trennen. Mit der Zeit bilden sich unterschiedliche Arten aus.
(Ernst Mayr)

Haldanesche Regel
Sterile oder lebensunfähige Erst-Generationen besitzen mit höherer Wahrscheinlichkeit zwei unterschiedliche Geschlechtschromosomen: in Säugetieren, XY nicht XX, was sie männlich werden lässt.
(J.B.S. Haldane)

Numerische Taxonomie
Klassifikation der Organismen basierend auf Form und Struktur, ungeachtet der evolutionären Abstammung.
(Peter Sneath, Robert Sokal)
Ignoriert

Konvergente Evolution
Gleiche Eigenschaften entwickeln sich mehrmals und unabhängig voneinander. Flügel entwickelten sich drei mal; in Vögeln, Fledermäusen und Bienen.

Sympatrische Artbildung
Individuen der selben Population entwickeln Präferenzen für bestimmte Lebensräume und Nahrung.
(John Maynard Smith)

Runaway Sexuelle Selektion
Weibchen beforzugen auffallende Männchen, was sie dazu verleitet überzogene sexuelle Verzierungen – wie den langen Pfauenschwanz – zu wählen.
(R. A. Fisher)

Artenkonzepte
Was ist eine Art?

a) Biologisches Konzept
Organismen unterschiedlicher Arten können sich nicht kreuzen.
(Ernst Mayr)

b) Ökologisches Konzept
Unterschiedliche Arten bewohnen unterschiedliche Nischen oder spezielle Lebensräume.
(Leigh van Valen)

c) Phylo-genetisches Konzept
Alle Mitglieder einer Art stammen von der selben Verzweigung auf dem evolutionären Stammbaum ab.
(Joel Cracraft)

Phylogenetik
Die Erforschung gemeinsamer evolutionärer Geschichte der Arten, dargestellt auf verzweigten 'Stammbäumen des Lebens', die sich Phylogenien nennen.
(Willi Hennig)

Hopeful-Monster -Hypothese
Neue Arten enstehen durch grosse Mutationen - 'hopeful monsters'
(Richard Goldschmidt)
Aber auch

Ökologische Genetik
Genetik verlässt das Labor und geht ins Feld. Wir können Evolution in Aktion erleben. Z.B. sobald unsere Umwelt verschmutzt, können diejenigen Birkenspanner welche die Gewarnte für dunkle Flügel besitzen überleben, sich fortpflanzen und verbreiten.
(Bernard Kettlewell)
Kritisiert in

Genetische Belastung
Einige Genvarianten sind schlecht, was zu verringerter Fitness führt. Die Menge an schlechten Genvarianten in einer Population wird als genetische Belastung bezeichnet. Natürliche Selektion wirkt um diese loszuwerden.
(Hermann Joseph Muller und J.B.S Haldane)
Aber wie erklären wir uns solch hohe Variation?

Paläontologie trifft Evolution
Divergenten Arten auf verschiedenen Kontinenten über Gendrift? Nein: Fossile Funde belegen, dass Säugetiere über Landbrücken migrierten.
(George Gaylord Simpson)

Phylogenetik
Die Erforschung gemeinsamer evolutionärer Geschichte der Arten, dargestellt auf verzweigten 'Stammbäumen des Lebens', die sich Phylogenien nennen.
(Willi Hennig)

Punktualismus
Evolution fährt stossweise fort, mit langen Perioden des Stillstands zwischen Zeiten der explosionsartigen Artenbildung. Z.b. Fleischwarzenkrebse die seit Millionen von Jahren gleich geblieben sind.
(Niles Eredge und Stephen J. Gould)

Ploidie
Neue Arten können durch Verdoppelung des Genom entstehen. Die Mehrheit der Blütenpflanzen erlebten eine Vervielfältigung des Genoms.
(V. Grant, nach Linnaeus)

Trade-off Theorie
Da Ressourcen beschränkt sind, müssen Organismen Kompromisse eingehen. Zum Beispiel können sie nicht schnell wachsen und gleichzeitig starke Konkurrenten sein.
(W. D Hamilton)

Molekulare Evolution
Einschliesslich:

a) Neutrale Theorie
Zufällige Prozesse wie Gendrift tragen zu genetischer Veränderung bei. Viele Mutationen sind neutral - weder gut noch schlecht.
(Motoo Kimura)

b) Nahezu Neutrale Theorie
Mutationen können leicht schädlich sein; die relative Kraft von Gendrift und Selektion hängt von der Populations-grösse ab.
(Tomoko Ohta)

c)Selektion-ismus
Natürliche Selektion ist die treibende Kraft in der Evolution.
(Theodosius Dobzhansky, E.B. Ford, Ernst Mayr)

d) Molekulare Uhr
DNA und Protein-sequenzen können zur Berechnung des Zeitpunkts der Abspaltung einer Art von einer anderen verwendet werden.
(Marcel Florkin, Emil Smith)

Ebenen natürlicher Selektion
Eine hitzige Diskussion über die Frage auf welcher Ebene Selektion wirkt:

a) auf das Gen
'Aus der Sicht der Gene'
(George C. Williams, Richard Dawkins)
mit Wirkung auf das Individuum
(Ernst Mayr)
oder die Familie
(W.D Hamilton)

b) auf Gruppen von Individuen
Gruppenselektion

c) auf Arten
Artenselektion
(Stephen Jay Gould)

d) auf mehr als eines der obigen
Multilevel Selektion

Red Queen Koevolution
Jede Art muss 'im Rennen bleiben' (durch natürliche Selektion) um mit den anderen Arten mithalten zu können.
(Leigh van Valen)
Und im kleineren Rahmen

Handikap Prinzip
Der Pfauenhahn entwickelte einen unpraktischen langen Schwanz – um zu zeigen, dass er es sich mit seinem 'guten Genen' leisten kann.
(Amotz Zahavi)
Aber

1960er - heute

Evolution in der Blütezeit:
Die Anzahl an Theorien nimmt zu, während Wissenschaftler evolutionäre Mechanismen immer tiefer erforschen.

Hox Gen Paradox
Menschen und Fliegen sind sehr verschieden, jedoch sind sich manche unserer Gene bemerkenswert ähnlich.
Teil der

Evolutionäre Entwicklungs-biologie
Die grosse Vielfalt an Lebewesen basiert auf ähnlichen Entwicklungsgenen, die in entfernt verwandten Organismen unterschiedlich ausgedrückt werden.

Ethologie
Die Erforschung tierischen Instinktes und Verhaltens: soziale Dominanz, Werkzeugbau und Weitergabe kultureller Merkmale.
(Konrad Lorenz, Nico Tinbergen)

Die Spandrille von San Marco
Nicht alles ist Anpassung. Wie die Spandrillen einer Cathedrale kann Evolution von strukturellen oder geschichtlichen Faktoren zurückgehalten werden.
(Stephen J. Gould und Richard Lewontin)

Die Price Gleichung
Inwieweit sich eine Eigenschaft wie Grösse verändert hängt von der Stärke der Selektion ab und davon wie gut die Eigenschaft von Generation zu Generation weitergegeben wird.
(George R. Price)
Benutzt für

Spieltheorie
Wirtschaftsmodelle angewandt auf Evolution und Verhalten, einschliesslich menschliches Verhalten.
(John Maynard-Smith)

a) Sexueller Konflikt
Es dient dem einen Geschlecht, dem anderen während oder nach der Kopulation Schaden zuzufügen. Manche Spinnen weibchen fressen ihre männlichen Partner.
(Robert Trivers, Geoff Parker)

b) Gegenseitiger Altruismus
Eine Hand wäscht die andere, selbst wenn wir nicht verwandt sind.
(Robert Trivers)

c) Eltern-Nachkommen Konflikt
Sind unser egoistischen Nachkommen kann die Eltern entkräften.
(Robert Trivers)

Memetik
Kulturelle Ideen oder 'Meme' (Konzepte, Geschichten, Lieder) sind wie Gene: Sie replizieren und verändern sich, und unterliegen einem Selektionsdruck.

Soziobiologie
Für alle Organismen, von Ameisen bis Primaten bis Schleimpilzen, gelten dieselben evolutionären Prinzipien.
(E. O. Wilson)

Evolutionäre Psychologie
Die menschliche Natur ist das Resultat evolutionärer Anpassungen, die unsere psychologische Zusammensetzung beeinflusst.
HEUTE UMSTRITTEN

Ungewöhnliche Geschlechter-verhältnisse
Warum die meisten Arten einen 1:1 Anteil an Geschlechtern haben, manche Insekten und Reptilien jedoch viel mehr Männchen oder Weibchen besitzen.
(W. D Hamilton)

Doppelte Kosten der Geschlechter
Ein geschlechtlicher Organismus gibt nur die Hälfte seiner Gene an seine Nachkommen weiter.
(Maynard-Smith)

Warum haben Organismen Sex?

a) Red Queen Parasiten Hypothese
Sex vermischt Gene, was was den Nachkommen hilft, sich gegen Pathogene zu wehren – bis die Pathogene sich zurück wehren.
(J. Jaenike, W. D. Hamilton)

b) Hill-Robertson Effekt
Sex vermischt Gene, was es zwei vorteilhaften Mutationen ermöglicht zusammen aufzutreten. Somit kann Evolution schneller passieren.
(Bill Hill, Alan Robertson)

Paarungssysteme
a) Männchen und Weibchen im selben Organismus (einige Pflanzen, Schnecken)

b) Erst ein Geschlecht, dann ein anderes: wenn ein dominantes Anemonenfischweibchen stirbt, wechselt ein Männchen sein Geschlecht um sie zu ersetzen.

c) Separate männliche und weibliche Geschlechter (Säugetiere).
Jedoch

Wie viele Partner?
- Die meisten Vogelpärchen bleiben ein Leben lang zusammen, da Kindererziehung harte Arbeit ist. Fremdgehen ist jedoch häufig.
- Bei den meisten Säugetieren paaren sich die Männchen mit mehreren Weibchen, da Reproduktion für ihn einfach ist, für sie jedoch anstrengend.
(S. T. Emlen, L. W. Oring)

2000 - heute

Die Genomik Ära:
Die Wissenschaft zerlegt das Genom um viele verschiedene Fragen zu beantworten.

Epigenetik
Die Erforschung von vererbten, jedoch nicht genetischen, Veränderungen der Genexpression. Lamarck lag vielleicht doch richtiger als wir dachten.

Genomik der Anpassung
Entsteht Anpassung hauptsächlich aus Mutationen in Genen, die zwischen Arten sehr ähnlich sind, oder aus Genen, die spezifische Proteine kodieren?
Durch

Funktionelle Genomik
Was machen unterschiedliche Gene? Z.b. das OCA2 Gen kodiert ein Protein, dass in der Produktion eines Pigments für Haut- und Augenfarbe verwickelt ist.

Darwinsche Medizin
Massgeschneiderte Medizin welche auf dem persönlichen genomischen Profil basiert.
Nützlich für

Welcher Teil unseres Genoms macht uns zum Menschen?

Genomik der Plastizität
Wie können sich einige Individuen an unterschiedliche Lebensräume anpassen ohne sich genetisch abzusetzen?

Tree of Life web Projekt
Die gesamte Lebensvielfalt der Erde ist nun online aufgeführt bei tolweb.org/tree/. Können wir sie jedoch erhalten?

Systembiologie
Eine holistische Anwendung evolutionärer Theorien auf allen Ebenen eines Systems – von Molekülen bis Ökosystemen.

Intelligentes Design
Natürliche Theologie gibt vor eine Wissenschaft zu sein. Kreationismus ist nicht totzukriegen.
(Michael Behe)

ab 400 v. Chr. | 9.-13.J.h. | 18.-19.J.h. | 1859 | 1860er | 1880-1920 | 1900-1960 | 1960er-heute | 2000-heute

Die vier Elemente der Evolution

Nur vier genetische Prozesse steuern die Bildung der Arten

1. Natürliche Selektion
Genvarianten, die mit vorteilhaften Merkmalen gekopplet sind (z.B. Höhe, Krankheitsresistenz), ermöglichen es einem Organismus mehr Nachkommen zu zeugen

2. Drift
Veränderungen in einer Genvariante von einer Generation zur nächsten durch Zufall – und nicht durch natürliche Selektion

3. Mutation
Gene unterliegen zufälligen Änderungen – oder Mutationen – verursacht durch Strahlung, Viren, oder einfach Kopierfehler

4. Migration
Der Prozess bei dem Gene oder Genvarianten von einer Population zur anderen übergeben werden

Wie das Leben organisiert ist

Schritt für Schritt, von einfach bis unbändig komplex

DNA
Vier Nukleotide, welche die Grundbausteine der meisten Organismen bilden

Schon gewusst?
Ausgestreckt wären die DNA einer einzigen Zelle eines Menschen ca. 2 Meter lang.

Gen
Einheit der Vererbung, welche Proteine oder RNA in einem Organismus kodiert
Nicht alle Teile eines Gens müssen auf dem selben Abschnitt der DNA oder gar auf dem selben Chromosom liegen.

Genom
Die gesamte DNA eines Organismus
Das menschliche Genom besteht aus bis zu 6 Milliarden DNA Basen, die auf 24 Chromosomen verteilt sind. Es enthält ca. 25,000 Gene.

Chromosom
Eine schnurartige Struktur, die das DNA Molekül und die stützenden Proteine enthält
Das menschliche Chromosom Nummer 1 enthält 220 millionen Nukleotide.

Zelle
Die kleinste Einheit des Lebens. Die meisten Zellen enthalten eine oder zwei Kopien eines jeden Chromosoms
Manche Ameisen haben nur ein Chromosom in ihren Zellen, während manche Pflanzen 12 haben.

Organismus
Eine Ansammlung von Zellen, die zusammen-arbeiten, um eine grössere Einheit wie Tiere oder Pflanzen zu bilden

Population
Gruppen von Organismen, die zusammen in einem Gebiet leben und sich kreuzen können

Arten
Viele Definitionen existieren. Eine davon besagt, eine Art ist 'eine Gruppe von Organismen die sich kreuzen und lebensfähige Nachkommen zeugen können'
Es gibt geschätzte 9 Millionen Arten auf der Erde, davon sind nur knapp über eine Million (ca 15%) benannt.

Gemeinschaft
Populationen verschiedener Arten, die im selben Gebiet leben und über Konkurrenzkampf, Predation und Parasitismus interagieren

Ökosystem
Ein dynamischer Komplex verschiedener biologischer Gemeinschaften – Pflanzen, Tiere und Mikrobien – in Interaktion mit der Umgebung
Die Milliarden von Bakterien die in unserem Darm leben, sind ein wichtiges Ökosystem. Neuste Ergebnisse zeigen, dass sich die menschlichen Darmökosysteme in drei Haupttypen spalten, die von bestimmten Arten dominiert werden.

Quellen und Danksagung

Darwin, C. (1859). *On the origin of species by means of natural selection: or the preservation of favoured races in the struggle for life*. London: John Murray

Ridley, M. (2004). *Evolution*. 3. Auflage. Oxford: Blackwell Science Ltd.

Ruse, M. and Travis J., eds. (2009). *Evolution: the first four billion years*. Harvard: Harvard University Press.

Recherche: Tania Jenkins, Miriam Quick
Design: Stefanie Posavec

Mit freundlicher Unterstützung durch die European Society for Evolutionary Biology – Europäische Gemeinschaft für Evolutionsbiologie
http://www.eseb.org/

Besten Dank an Sarah Otto, Tadeusz Kawecki und Christine Clavien

Aus dem Englischen von Juliet Blum