

Evolution wohin?

Martina Dubach (Hrsg.)

Die Folgen der
darwinschen Theorie



Forum
für **Universität und Gesellschaft**
Universität Bern

v/dlf



Martina Dubach
(Hrsg.)

Evolution wohin?

Die Folgen der darwinschen Theorie

Forum für Universität und Gesellschaft
Universität Bern

v/d|f

Publikation des



Forum
für **Universität und Gesellschaft**
Universität Bern

u^b

^b
**UNIVERSITÄT
BERN**

Evolution wohin?

Die Folgen der darwinschen Theorie

Herausgegeben von
Martina Dubach

Mit Beiträgen von
Reinhold Bernhardt, Monika Betzler, Jan D. Kramers, Christian Kropf,
Christian Leumann, Wolfgang Lienemann, Pascal Mäser, Hansjakob Müller,
Kärin Nickelsen, Ernst Peterhans, Ruth E. Reusser, Virginia Richter,
Jens Schlieter, Hans-Konrad Schmutz, Daniel Schümperli, Ole Seehausen,
Michael Taborsky

Projektleitung: Dr. Martina Dubach
Projektgruppe: Prof. Dr. Beatrice Lanzrein, Prof. Dr. Samuel Leutwyler
Prof. Dr. Virginia Richter, Prof. Dr. Gabriele Rippl



vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich

Veranstaltungen und Publikation wurden durch die Stiftung
«Universität und Gesellschaft» unterstützt.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2012

vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich



ISBN 978-3-7281-3473-8 Printausgabe

ISBN 978-3-7281-3474-5 eBook

DOI-Nr. 10.3218/3474-5

Das Werk einschliesslich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt.

Jede Verwertung ausserhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar.

Das gilt besonders für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.



www.vdf.ethz.ch

verlag@vdf.ethz.ch

Inhaltsverzeichnis

Evolution wohin?.....	9
MARTINA DUBACH, SAMUEL LEUTWYLER	
Kleines ABC der Evolutionstheorie.....	11
CHRISTIAN KROPF	
Teil 1 Darwins Erbe	27
Die Evolutionstheorie gestern und heute.....	29
MARTINA DUBACH	
Darwin in seiner Zeit: Hintergrund der Evolutionstheorie	31
KÄRIN NICKELSEN	
Der Ursprung der Arten 150 Jahre nach Darwin	45
OLE SEEHAUSEN	
Teil 2 Vom selbstreplizierenden Molekül zur Kooperation.....	67
Von der Aminosäure zum Altruismus	69
MARTINA DUBACH	
Selbstreplizierende Moleküle und der Ursprung des Lebens: Evolution im Reagenzglas.....	71
CHRISTIAN LEUMANN	
Momentaufnahmen aus der Erdgeschichte: Atmosphäre, Opportunismus und Evolution	85
JAN D. KRAMERS	
Zufall und Notwendigkeit – von der ersten Zelle bis zum Menschen	101
PASCAL MÄSER	
Das Kernproblem der Evolutionstheorie: Kooperation und Altruismus	111
MICHAEL TABORSKY	

Teil 3	Darwin oder Genesis	127
	Zwischen Glauben und naturwissenschaftlicher Erklärung	129
	MARTINA DUBACH	
	Wider das kreationistische Gedankengut. Über Theorie und Wahrheit, Wissen und Nichtwissen, Feuerzeuge und Spione.....	131
	CHRISTIAN KROPF	
	Die evolutionstheoretische Kritik am monotheistischen Schöpfungsmodell und die Weltentstehungsmythen anderer Religionen	147
	JENS SCHLIETER	
	Schöpfung statt Evolution? Kreationismus, Intelligent Design und die christliche Schöpfungstheologie	159
	REINHOLD BERNHARDT	
	«Gott schuf den Menschen zu seinem Bilde» – Aspekte theologischer Anthropologie zwischen Evolutionsbiologie und Kreationismus	175
	WOLFGANG LIENEMANN	
Teil 4	Manipulierte Evolution.....	195
	Genetische Manipulation – Perfektionierung – Fiktion	197
	MARTINA DUBACH	
	Beeinflusst die moderne Bio- und Gentechnologie die Evolution?	201
	DANIEL SCHÜMPERLI	
	Haben gefährliche Viren eine Rolle in der Evolution?.....	215
	ERNST PETERHANS	
	Zur Evolution des Menschen: Von der DNA-Analyse zum Design?.....	231
	HANSJAKOB MÜLLER	
	Dürfen wir die menschliche Psyche optimieren? – Zur Ethik des <i>Neuro-Enhancement</i>	247
	MONIKA BETZLER	
	Darwins Büchse der Pandora	263
	HANS-KONRAD SCHMUTZ	

Perfektionierung des Menschen – das Recht schweigt nicht.....	271
RUTH E. REUSSER	
Wenn Evolution schiefgeht. Science Fiction als Gegenerzählung zu Darwins Evolutionstheorie.....	285
VIRGINIA RICHTER	
Verzeichnis der Autorinnen und Autoren	299

Evolution wohin?

Als Darwin 1859 sein bahnbrechendes Werk «On the Origin of Species by Means of Natural Selection» veröffentlichte, kam dessen Wirkung auf das menschliche Selbstverständnis einer Katastrophe gleich, ähnlich dem Aufkommen des heliozentrischen Weltbildes von Kopernikus im 16. Jahrhundert. Darwins Theorie war einerseits ein fundamentaler Bruch mit dem herkömmlichen Weltbild. Andererseits hat Darwin der Gesellschaft mit diesem Buch einen enormen kulturellen und wissenschaftlichen Schatz hinterlassen. Mittelpunkt des darwinschen Evolutionsgedanken ist die Aussage, dass die Entstehung und Veränderung der Arten eng mit der natürlichen Auswahl gekoppelt ist: Wer besser an seinen Lebensraum angepasst ist, hat bessere Überlebenschancen, wird mehr Nachkommen haben und seine Gene häufiger vererben. Evolution durch natürliche Selektion ist ein Naturgesetz, das nicht nur für die Beschreibung der Entwicklung von Tieren und Pflanzen essentiell ist, sondern heute einen zentralen Ausgangspunkt für eine ganze Reihe von wissenschaftlichen Fragen bietet – von der Molekularbiologie bis zu den Wirtschaftswissenschaften. Die Evolutionstheorie ist für die Biologie ebenso fundamental wie die klassische Mechanik für die Physik.

Auch wenn Darwin damals einige der Evolution zugrunde liegende Mechanismen, wie z.B. jene der Vererbung, noch nicht kannte, gelten die in seinem Buch beschriebenen Grundprinzipien heute noch genauso wie vor 150 Jahren. Sie bilden die Basis für die moderne Evolutionsforschung von der Molekulargenetik über die synthetische Evolutionsbiologie bis hin zur Populationsgenetik und Verhaltensökologie. Darwins Werk überrascht bis heute durch die Tiefgründigkeit der Analyse und den grossen Schatz an gesammelten Daten. «On the Origin of Species» ist wohl einzigartig als es sowohl eine wissenschaftliche Revolution ausgelöst hat als auch gleichzeitig allgemeinverständlich geschrieben ist. Die erste Ausgabe (1859) war bereits nach wenigen Wochen ausverkauft. Neuauflagen und Übersetzungen folgten rasch. Bereits 1860 erschien die erste deutsche Ausgabe.

Die Grundideen Darwins scheinen noch immer auf in den aktuellen Debatten über selbstreplizierende Moleküle, Bio- und Gentechnologie, Altruismus und Kooperation. Auch die Theologie muss sich seit Darwin mit naturwissenschaftlich-kausalen Theorien zum Ursprung und zur Entwicklung des Lebens als Gegenvorschlag zum Schöpfungsmythos auseinandersetzen. Und seit die «Perfektionierung» von Lebewesen nicht mehr nur Science Fiction ist, sondern in den Bereich des Machbaren vorstösst, stellen sich auch ethische und juristische Fragen in Bezug auf die Tier- und Menschenwürde. Damit nicht genug, Darwins Interpretationen haben auch in der Literatur deutliche Spuren hinterlassen. Viele Schriftsteller wurden dazu angeregt, seine Theorie weiterzuspinnen, abzuwandeln oder im Sinne einer Rückentwicklung sogar umzudrehen.

Die Implikationen von Darwins Theorie für die heutige Zeit waren Grund genug, dass sich das Forum für Universität und Gesellschaft der Universität Bern entschloss, 2009 eine Reihe von Veranstaltungen zu den Auswirkungen der Evolutionstheorie auf die heutige Wissenschaft und Gesellschaft zu organisieren. Rund um das Darwin-Jubiläumsjahr entstanden viele Bücher und Artikel, die das Lebenswerk des britischen Naturforschers in allen Facetten ausleuchten. Das Forum wollte diesem Reichtum nicht einfach eine weitere Würdigung beifügen. So sollten die vier halbtägigen Workshops und eine Vorlesungsreihe in Zusammenarbeit mit dem Collegium generale der Universität Bern auch weniger die historische Evolutionstheorie nachzeichnen als vielmehr auf die immer noch ungebrochene Aktualität und Relevanz des darwinschen Konzeptes hinweisen. Das Projekt sollte den verschiedenen Fachbereichen der modernen Evolutionsforschung eine Plattform sein, für ihr Wissen und die sich daraus entwickelnden neuen Fragestellungen zu sensibilisieren. Der interessierten Öffentlichkeit sollte es Einblicke geben in die vielfältigen Einflüsse einer wissenschaftlichen Theorie auf die Gesellschaft und ihre Entwicklung. So hat das Forum nachgefragt, was von Darwins Theorie übriggeblieben ist und welche Fragen aktuell im Mittelpunkt des Interesses stehen. Evolutionsbiologen und Philosophinnen, Geologen, Theologen und Mediziner, Juristinnen und Ethikerinnen berichten im vorliegenden Sammelband aus ihrer Forschung und bieten Informationen aus erster Hand zum modernen Verständnis der Evolutionstheorie und ihrer Auswirkungen. Die Auslegeordnung führt vom historischen Kontext und einem kleinen ABC der Evolutionstheorie hin zu Fragen nach der Ersetzbarkeit der Schöpfungsgeschichte durch die Evolutionstheorie oder «Sollen wir der Evolution ins Handwerk pfuschen»? Der vorliegende Band versammelt die Beiträge dieser Reihe.

Unser Dank geht an alle, die diesen reichhaltigen Zyklus ermöglicht haben: an das Forum, welches die Projektidee unterstützt hat, an die Mitglieder der Begleitgruppe (Professorinnen Beatrice Lanzrein, Virginia Richter, Gabriele Rippl), die mit viel Engagement und Ausdauer geholfen haben, das Projekt aus der Taufe zu heben, an die Stiftung Universität und Gesellschaft, welche die Durchführung der Workshops und der Vorlesungsreihe finanziell ermöglichte, an die Vortragenden, die ihre Referate in mühevoller Kleinarbeit zu Manuskripten für den Sammelband umgearbeitet haben und auch an die Teilnehmenden aus allen Bereichen der Gesellschaft, die unsere Arbeit mit ihrem Interesse und mit ihren Fragen und Kommentaren belohnt haben.

Lassen Sie sich einladen und überraschen von der Vielfalt der Beiträge und gönnen Sie sich vertiefte Einblicke in die modernen Ergebnisse der Evolutionsforschung.

Kleines ABC der Evolutionstheorie

CHRISTIAN KROPF

In diesem Kapitel werden einige Grundbegriffe aus der Evolutionstheorie erläutert, die für das Verständnis dieser grundlegenden Theorie der Biologie wichtig sind. Einem Anspruch auf Vollständigkeit können sie sicher nicht genügen. Sie mögen jedoch vor allem dem biologisch weniger versierten Leser eine erste Orientierung in der Evolutionstheorie und eine Hilfestellung bei der Lektüre dieses Buches bieten. Die für das Erstellen dieses «ABC»s benutzten Begriffsdefinitionen sind meist Standarddefinitionen, für die keine Originalität beansprucht wird; die entsprechenden Quellen sind im Literaturverzeichnis aufgeführt. Das Zeichen «→» bedeutet «siehe auch» oder «vergleiche».

Adaptation

Entwicklung erblicher vorteilhafter Merkmale durch → Mutation und → Rekombination sowie deren Bewährung unter → natürlicher Selektion.

Adaptation (Anpassung) ist ein fundamentales Konzept der Evolutionsbiologie. Adaptation ist ein zweistufiger Prozess: Die Entwicklung vorteilhafter Eigenschaften (1) erfolgt durch zufällige Ereignisse im Erbgut (Mutation, Rekombination), danach folgt (2) die nicht-zufällige Bewährung unter natürlicher Selektion. Dies bedeutet, dass die Träger (Individuen, Organismen) der vorteilhaften Eigenschaft statistisch einen höheren Fortpflanzungserfolg aufweisen, als die Nicht-Träger. Über mehrere Generationen setzt sich wegen der erhöhten Fortpflanzungsrate ihrer Träger die vorteilhafte Eigenschaft in einer Population durch. Mit «vorteilhaft» bezeichnet man all diejenigen Merkmale, die ihrem Träger (dem Individuum) eine bessere Eignung unter den jeweils herrschenden Bedingungen verleihen. Sind zahlreiche verschiedene freie Ressourcen verfügbar, können sich über → adaptive Radiation mehrere neue Linien oder Arten entwickeln.

Adaptive Radiation

Evolutionäre Divergenz von Mitgliedern einer einzelnen → phylogenetischen Linie zu einer Vielfalt verschiedener → adaptiver Formen oder → Arten.

Voraussetzung für adaptive Radiation sind verschiedene «freie» (also nicht bereits von konkurrierenden Arten genutzte) Ressourcen oder → Habitats. Dies kann beispielsweise auf ozeanischen Inseln der Fall sein, die durch Vulkanismus entstanden sind und nie eine Verbindung zum Festland hatten. Die Arten, die diese Inseln als erste besiedeln, finden daher meist zahlreiche ungenutzte Ressourcen und Habitats vor. Die Folge ist oft adaptive Radiation: Die neu angekommene Art spaltet sich relativ rasch in einzelne spezialisierte Linien (und in der Folge: Arten) auf, welche sich jeweils an verschiedene dieser Ressourcen anpassen und ihre spezifische Ressource daher besser nutzen als die anderen Linien. Ein berühmtes Beispiel für adaptive Radiation ist die Entwicklung der verschiedenen Arten von Darwinfinken auf den Galapagosinseln, welche verschiedene Nahrungsquellen nutzen und adaptiv unterschiedliche Schnabelformen dafür entwickelt haben.

Allel

Eine von mehreren Formen desselben Gens.

Durch → Mutationen kann ein und dasselbe Gen (z.B. das Gen für die Augenfarbe) innerhalb einer Population oder Art verschiedene Formen annehmen. Meist erkennt man das an der → phänotypischen Ausprägung (z.B. der Augenfarbe). Erkennt man die genetische Besonderheit eines Allels direkt durch Entschlüsselung der Basensequenzen der → DNA, spricht man üblicherweise von «Haplotyp».

Allelfrequenz

Die Wahrscheinlichkeit des Auffindens eines bestimmten → Allels in einer → Population, wenn aus dieser zufällig ein → Gen entnommen wird.

Anders ausgedrückt: Die relative Häufigkeit eines bestimmten Allels in einer Population im Vergleich zu den anderen Allelen desselben Gens.

Altruismus

Jede Verhaltensweise eines Individuums, welche ihm zugunsten eines anderen Individuums unmittelbar mehr Kosten als Nutzen einbringt.

Die moderne Evolutionsbiologie hat gezeigt, dass Altruismus fast immer in der Folge mit einem mittelbaren Nutzen für den Altruisten verbunden ist. So können Individuen mit geringen Fortpflanzungschancen beispielsweise als Helfer ihre Verwandten fördern (→ Verwandtenselektion) Durch deren erhöhte Fortpflanzungsrate werden auch Gene des Altruisten weiter gegeben. Beim Menschen ist Altruismus auch gegenüber Nicht-Verwandten bekannt – damit einher kann ein höherer sozialer

Status gehen, der sich wiederum oft positiv auf die Fortpflanzungsrate des Altruisten auswirkt.

Aminosäuren (genauer: α -Aminosäuren)

Die molekularen Bausteine der Eiweisse.

Es gibt über 20 verschiedene α -Aminosäuren.

Art

In der Biologie ist damit eine geschlossene Fortpflanzungsgemeinschaft gemeint: Alle fortpflanzungsfähigen Individuen, die miteinander (zumindest potentiell) fruchtbare Nachkommen hervorbringen können, gehören damit zu einer Art. Fortpflanzungsfähige Individuen, die dies nicht miteinander können, gehören zu verschiedenen Arten.

In dieser Definition ist das Artkriterium das Vorhandensein von vollständig wirkenden $\rightarrow$ Isolationsmechanismen zwischen $\rightarrow$ Populationen. Der Artbegriff ist sehr umstritten. Bis heute hat sich die Wissenschaft nicht auf einen einheitlichen Artbegriff einigen können und es gibt mehrere andere Artdefinitionen. Die oben genannte ist die am weitesten verbreitete Definition, die jedoch auch ihre Schwächen hat. Diese hängen unter anderem damit zusammen, dass Arten nicht konstant sind, sondern in ständigem Wandel begriffen. Sie gehen (meist) aus genetisch differenzierten Populationen hervor und spalten sich später wiederum in solche auf. Es kann in der Praxis unmöglich sein, genetisch differenzierte Populationen von Arten zu unterscheiden. Ein weiteres Problem stellt die Bildung neuer Arten durch $\rightarrow$ Hybridisierung dar sowie Arten, deren Individuen zur Fortpflanzung kein zweites Individuum benötigen (z.B. indem sie sich ausschliesslich ungeschlechtlich vermehren). Es kann auch sein, dass die Vertreter zweier (meist geographisch entfernter) Populationen zwar miteinander keine fruchtbaren Nachkommen erzeugen können («isolation by distance»), jedoch mit den Vertretern dazwischen liegender Populationen fortpflanzungsmässig verbunden sind. So entsteht eine «Kette» miteinander kreuzbarer Populationen, deren «Endglieder» jedoch nicht mehr fruchtbar kreuzbar sind.

Assortative Verpaarung

Nicht-zufällige Wahl des Paarungspartners auf der Grundlage seines $\rightarrow$ Phänotyps ($\rightarrow$ Sexuelle Selektion).

Biotop

Ein Lebensraum mit der ihm eigenen Gemeinschaft von darin lebenden Arten.

Diploide Organismen

Organismen mit einem doppelten Satz von → Genen (→ Haploide Organismen, → Polyploide Organismen).

Die allermeisten Tiere und Pflanzen sind diploid. Um eine nochmalige Verdoppelung des Erbgutes beim Verschmelzen der Keimzellen (Sperma- und Eizelle) zu verhindern, wird bei der Bildung dieser Zellen der Gen-satz halbiert, sodass die reifen Keimzellen haploid sind.

DNA

Desoxyribonukleinsäure – ein sehr grosses Molekül, das in fast allen belebten Zellen vorkommt und neben anderem das Erbgut in Form von → Genen beinhaltet. Die DNA besteht unter anderem aus Sequenzen vier verschiedener in unterschiedlicher Reihung aneinandergehängter Basen (Adenin, Thymin, Guanin und Cytosin). Die DNA liegt (ausser in bestimmten Phasen der Zellteilung) als Doppelstrang vor (→ RNA, → Genetischer Code).

Die DNA kann frei in der Zelle liegen (bei den → Prokaryota), oder sie kann in einem Zellkern und in den → Mitochondrien lokalisiert sein (bei den → Eukaryota). Bei den Pflanzen beinhalten auch die sog. Chloroplasten DNA. Zellen ohne DNA wären beispielsweise die voll entwickelten roten Blutkörperchen der Säugetiere.

Epigenetik

Alle durch Zellteilung vererbbaaren chemischen Veränderungen am Erbgut, die durch Umwelteinflüsse und ohne Veränderung der kodierenden → DNA-Sequenz ausgelöst werden. Es handelt sich also um → phänotypische Zelleigenschaften, welche an Tochterzellen vererbt werden und nicht in den Genen kodiert sind.

Die Bedeutung nicht-genetischer Vererbung wird erst in jüngster Zeit in ihrer ganzen Tragweite erkannt. Sie betrifft offenbar nicht nur Zellgenerationen, sondern in bestimmten Fällen auch Generationen von Organismen! Beispielsweise können Gene der DNA durch epigenetische Prozesse (Tätigkeit spezifischer Enzyme nach Anlagerung bestimmter Atomgruppen [Methylierung] an gewissen Stellen im Gen) inaktiviert oder durch andere epigenetische Prozesse an den Eiweissen, an denen die DNA aufgewickelt ist, auch aktiviert werden. Die DNA-Sequenz selbst bleibt dabei unverändert!

Eukaryota

Alle Organismen, bei denen die → DNA in einem Zellkern liegt. Eukaryoten besitzen neben zahlreichen Zellstrukturen, die den → Prokaryota fehlen, auch → Mitochondrien.

Sämtliche Tiere, Pflanzen und Pilze gehören zu den Eukaryota. Die Eukaryoten stammen von (natürlich ausgestorbenen) Prokaryoten ab.

Evolution

Der über die Zeit durch differentielle Reproduktion stattfindende Wandel der Anteile individueller Organismen an der Biosphäre, die sich genetisch in zumindest einem Merkmal unterscheiden.

Diese Definition ist nicht gerade leicht verdaulich. Sie nimmt (1) darauf Bezug, dass sich nicht alle Individuen einer Generation gleich stark vermehren («differentielle Reproduktion»). Einige vermehren sich stark, andere weniger stark und wieder andere gar nicht (z.B. weil sie vor Erreichen der Geschlechtsreife sterben oder weil sie keinen geeigneten Partner finden). Die Individuen jeder Generation sind normalerweise genetisch verschieden, jedes Individuum ist einzigartig. Aus dieser Tatsache ergibt sich (2), dass jede Generation eine andere genetische Zusammensetzung hat als ihre Elterngeneration. Die Gene derjenigen Individuen, die sich gar nicht fortgepflanzt haben, sind natürlich auch nicht vererbt worden, die Gene derjenigen Individuen, die sich schwach vermehrt haben, sind in der Folgereneration weniger häufig und die Gene derjenigen Individuen, die sich stark vermehrt haben, sind häufiger als in der Elterngeneration. Nach (meist) längeren Zeiträumen kann Evolution zur Bildung neuer → Arten führen.

Fitness

Der durchschnittliche Beitrag eines → Allels oder → Genotyps zur nächsten oder zu folgenden Generationen, verglichen mit dem Beitrag anderer Allele oder Genotypen.

Dies ist eine klassische Definition von Fitness. Ob und inwieweit auch phänotypische Beiträge zur Fitness berücksichtigt werden müssen, kann hier nicht weiter ausgeführt werden. Vergleiche auch die Ausführungen unter → Epigenetik.

Flaschenhalseffekt

Die Verminderung der genetischen Variabilität einer → Population, hervorgerufen durch eine starke Reduzierung der Population auf wenige Individuen.

Ein berühmtes Beispiel für den Flaschenhalseffekt sind die Präriehühner (*Tympanuchus cupidus*) von Illinois, die durch Lebensraumzerstörung und Jagd im 20. Jahrhundert von über 100 Millionen Tiere auf weniger als 50 reduziert wurden; ihre ehemalige genetische Variabilität (genetische Vielfalt) ging dadurch zum Grossteil verloren. Eine eingeschränkte genetische Variabilität bedeutet immer ein Aussterbe-

risiko für die Population oder Art. Denn bei irgendeiner Veränderung der Umwelt finden sich häufiger keine geeigneten Individuen mehr, deren Genausstattung es ihnen ermöglichen würde, mit dieser Änderung zurecht zu kommen.

Gen

Ein Abschnitt einer → Nukleinsäure, der als funktionelle Einheit der Vererbung dient.

Der sehr schwierige und komplexe Begriff des Gens kann in diesem beschränkten Rahmen nicht erschöpfend behandelt werden. Gene können alleine ein einzelnes Merkmal determinieren (z.B. die Augenfarbe), sie können an der Herausbildung mehrerer Merkmale beteiligt sein (→ Pleiotropie) oder auch zu Tausenden die Entwicklung eines Merkmals steuern. Manche Gene dienen nicht direkt der Vererbung, sondern fungieren als Regulatoren zahlreicher molekularer Prozesse.

Genetische Drift

Zufällige Änderungen in der → Allelfrequenz oder der → Genotypfrequenz von zwei oder mehreren → Allelen oder → Genotypen innerhalb einer → Population.

Genetische Drift ist durch zufällige Schwankungen von Allelfrequenzen gekennzeichnet, die schliesslich zur Fixierung eines Allels in der Population oder zu seinem Verschwinden führen können. Der Prozess verläuft umso schneller, je kleiner eine Population ist (→ Flaschenhalseffekt). So können besonders kleine Populationen durch ein zufälliges Ereignis Individuen und deren Allele verlieren, wodurch beispielsweise nachteilige Allele relativ häufiger werden und seltene vorteilhafte Allele verloren gehen können. Als Folge der genetischen Drift können der Verlust von genetischer Vielfalt innerhalb einer Population und die Entstehung von genetischen Unterschieden zwischen Populationen eintreten. Eine spezielle Form der genetischen Drift ist der → Gründereffekt.

Genetischer Code

Regel für die Übersetzung der genetischen Information in den Bau von Eiweissen. Die spezifische Kombination je dreier Basen (Tripletts oder Codons genannt) der → Nukleinsäuren enthält die Information für den Bau einer bestimmten → Aminosäure.

Der genetische Code ist in den Grundzügen bei allen Lebewesen derselbe. Dies ist eines der stärksten Argumente dafür, dass alles heutige Leben von einer einzigen belebten Zelle abstammt. Diese «Urzelle» ist in der Literatur als LUCA bekannt (Last Universal Common Ancestor).

Genexpression

Die Synthese von → RNA und Eiweißen auf der Basis der Information in den → Genen der → DNA.

In einem weiteren Sinne meint dieser Begriff die → phänotypische Ausprägung des → Genotyps.

Genfluss

Der Verlust oder Gewinn von → Allelen, den eine → Population durch Ein- oder Auswanderung fruchtbarer Individuen erfährt.

Damit ist im Allgemeinen der Austausch von → Keimzellen (Ei-, Spermazellen) zwischen Populationen gemeint. Genfluss kann so die genetische Vielfalt von Populationen verändern (→ Gründereffekt).

Genotyp

Die Gesamtheit der Gene eines Organismus (→ Phänotyp).

Oft wird darunter ungenauerweise auch die genetische Zusammensetzung eines oder mehrerer Gene verstanden, über die wissenschaftliche Aussagen gemacht werden.

Genotypfrequenz

Die relative Häufigkeit eines bestimmten → Genotyps in einer → Population im Vergleich zu anderen Genotypen.

Gründereffekt

Zufällige Veränderungen in der → Allelfrequenz als Folge der Gründung einer neuen → Population durch sehr wenige Individuen.

Die Änderungen der genetischen Vielfalt beim Gründereffekt sind ähnlich denen beim → Flaschenhalseffekt. Wird ein kleiner Ausschnitt (Gründerpopulation) einer Population geographisch von der Ursprungspopulation so getrennt, dass kein → Genfluss zwischen ihr und der Ausgangspopulation mehr möglich ist, behält die Gründerpopulation nur einen Ausschnitt der genetischen Vielfalt der Ursprungspopulation. Ausserdem können seltene → Allele in ihr relativ häufiger und häufige relativ seltener sein. Sie weist also andere Allelfrequenzen auf, als die Ursprungspopulation. Der Gründereffekt kann relativ schnell die Bildung neuer Arten bewirken. Insbesondere bei der Neubesiedelung von → Inselbiotopen spielen Gründereffekt und darauf folgende Anpassung (→ Adaptation) und Artenbildung eine wichtige Rolle.

Habitat

Lebensraum einer → Art (→ Biotop).

Haploide Organismen

Organismen mit einem einfachen Satz von → Genen (→ Diploide Organismen, → Polyploide Organismen).

Horizontaler Gentransfer

Die Übertragung von → Genen von einer → Art auf eine andere innerhalb einer Generation.

Horizontaler Gentransfer ist vor allem bei Einzellern ein häufiger Vorgang. Bei vielzelligen Organismen scheint er selten zu sein, wurde jedoch in der Vergangenheit in seiner Bedeutung möglicherweise unterschätzt. Ein berühmtes Beispiel ist die nordamerikanische Meeresschnecke *Elysia chlorotica*, welche als Jungschnecke die Photosynthese-Gene und Chloroplasten einer Alge aufnimmt und in ihre Zellen einbaut. Danach frisst sie für den Rest ihres Lebens nichts mehr, sondern lebt ausschliesslich als «Pflanze».

Hybridisierung

Fortpflanzung zwischen Individuen zweier genetisch unterschiedlicher → Populationen oder → Arten, welche zur Bildung (zumindest kurzfristig) lebensfähiger Nachkommen (Hybride) führt.

Durch Hybridisierung kann es auch zur Bildung neuer Arten kommen (Hybridarten). Dabei kann die neue Hybridart neben ihren Elternarten selbstständig weiter bestehen.

Inselbiotop

Ein mehr oder minder isolierter → Biotop, der sich in seinen Umweltbedingungen tiefgreifend von seiner näheren und weiteren Umgebung unterscheidet.

Dazu zählen nicht nur Inseln im engeren Sinne, sondern auch Sonderstandorte auf dem Festland, wie beispielsweise die Gipfel einzeln stehender oder durch tiefe Täler voneinander getrennter Berge. Die Besiedelung von Inselbiotopen durch kleine «Gründerpopulationen» (→ Gründereffekt) mit darauf folgender rascher Entstehung neuer → Arten ist vielfach belegt und liefert der Wissenschaft seit langem entscheidende Informationen zum Verständnis der biologischen → Evolution.

Isolationsmechanismus

Jeder genetisch bedingte Mechanismus, der → Genfluss und → Hybridisierung einschränkt oder verhindert.

Nach der hier gegebenen Definition der → Art, ist Artenbildung (→ Speziation) gleichbedeutend mit der Herausbildung von Isolationsmechanismen. Es gibt zahlreiche verschiedene Mechanismen, die Genfluss zwi-

schen Populationen und damit die Bildung von Hybriden einschränken oder verhindern. Beispiele wären unterschiedliche Aktivitätsphasen der sexuell aktiven Stadien, unterschiedliche Balzmuster, Sexuallockstoffe, → Habitatpräferenzen, nicht zusammenpassende männliche und weibliche → Keimzellen, u.s.w. Die rein geographische oder topographische Trennung zweier Populationen zählt nicht zu den Isolationsmechanismen im eigentlichen Sinn.

Keimzellen

Meist → haploide Zellen bei allen sich geschlechtlich fortpflanzenden Organismen, die normalerweise in besonderen Organen (Geschlechtsorganen) erzeugt werden und aus denen eine neue Generation von Organismen entsteht (→ somatische Zellen).

Die Keimzellen werden auch «Geschlechtszellen» oder «Gameten» genannt. Bei allen mehrzelligen Tieren werden die reifen weiblichen Keimzellen als Eizellen oder Eier, die reifen männlichen als Spermien oder Spermatozoen bezeichnet. Das Verschmelzungsprodukt einer Ei- und einer Spermazelle ist die befruchtete Eizelle (Zygote), aus der sich ein neuer Organismus entwickelt. Vererbung von Merkmalen auf die nächste Generation von Organismen ist meist nur über die Keimzellen möglich (→ somatische Zellen). Bei manchen Tieren können auch aus unbefruchteten Eizellen voll entwickelte Organismen entstehen (→ Parthenogenese).

Künstliche Selektion

→ Selektion eines durch den Menschen bewusst ausgewählten Merkmals oder einer Merkmalskombination in einer → Population (Zucht). Im Unterschied zur → natürlichen Selektion ist das ausgewählte Merkmal das Überlebens- und Fortpflanzungskriterium, und nicht die durch den gesamten → Genotyp bestimmte Fitness. Die künstliche Selektion durch Tier- und Pflanzenzüchter hat Charles Darwin entscheidende Impulse bei der Entwicklung seiner Selektionstheorie gegeben.

Makroevolution

Ein vager Begriff für die → Evolution grosser → phänotypischer Änderungen, die so markant sind, dass die Angehörigen der veränderten Linie und ihre Abkömmlinge als unterschiedliche Grossgruppen von Organismen (Gattungen, Familien etc.) angesehen werden können (→ Mikroevolution).

Die Begriffe «Mikroevolution» und «Makroevolution» sind wenig nützlich, da beide Begriffe nur quantitativ verschiedene Ergebnisse ein und desselben Vorgangs, der Evolution, beschreiben. Sie lassen sich auch nicht

sauber gegeneinander abgrenzen. Die Mechanismen der Mikroevolution (→ Mutation, → Rekombination, → genetische Drift, → natürliche und sexuelle Selektion etc.) sind genau dieselben wie die der Makroevolution.

Mikroevolution

Ein vager Begriff für geringfügige evolutionäre Änderungen innerhalb von → Arten oder geringfügige evolutionäre Änderungen, die zur Entstehung neuer Arten führen; kurz: Evolution auf Artniveau (→ Makroevolution).

Mitochondrien

Zellstrukturen, in denen mittels komplexer chemischer Umwandlungsvorgänge die Energieproduktion der → eukaryoten Zelle stattfindet («Zellkraftwerke»). Mitochondrien besitzen ein eigenes Erbgut. Das Erbgut der Mitochondrien kann normalerweise nur über die Mutter vererbt werden, da die Mitochondrien des Spermiums nicht in die Eizelle gelangen. Das Erbgut der Mitochondrien ähnelt dem von → Prokaryoten so stark, dass heute davon ausgegangen wird, dass die Mitochondrien von Prokaryoten abstammen, welche zunächst in → Symbiose in einer anderen Zelle gelebt haben. Aus derartigen Symbiosen entstand Schritt für Schritt die eukaryote Zelle.

Mutation

Jede Änderung der Basensequenz des Erbguts (→ DNA), die nicht auf → Rekombination beruht.

«Mutation» ist ein schlecht definierter und komplexer Begriff, der hier nicht in der erforderlichen Ausführlichkeit diskutiert werden kann.

Natürliche Selektion

Ein statistisches Mass für nicht-zufälliges unterschiedliches Überleben und unterschiedliche Fortpflanzung von Individuen, die sich in mindestens einem Merkmal unterscheiden. Grund ist die unterschiedliche Eignung in Bezug auf die jeweils herrschenden Bedingungen während der gesamten Lebensspanne der Individuen bis zur Fortpflanzung.

Natürliche Selektion ist ein komplexer Begriff. Nach der hier gegebenen Definition ist das Individuum die zentrale Einheit der natürlichen Selektion (auch natürliche Auslese genannt). Es gibt aber auch Meinungen, wonach einzelne Gene oder sogar Gruppen von Individuen als Einheiten der natürlichen Selektion direkt unterworfen seien. Darauf kann hier nicht näher eingegangen werden, doch scheint es zumindest möglich,

dass direkte natürliche Selektion auf mehreren Ebenen stattfindet, nicht nur auf der des Individuums.

Normalerweise erzeugen alle Organismenpaare mehr als zwei Nachkommen. Dies bedeutet ein potentes exponentielles Bevölkerungswachstum in jeder Population. Dennoch bleiben die Populationen in der Natur normalerweise stabil. Dies impliziert, dass ein Grossteil der Nachkommen absterben muss, bevor es zur Fortpflanzung kommt. Das hat unter anderem damit zu tun, dass die zur Verfügung stehenden Ressourcen meist nicht für alle Nachkommen ausreichen. Es kommt deshalb zu einem «Kampf ums Dasein» («struggle for life») zwischen den Individuen jeder Generation. Diesen «Kampf ums Dasein» (ein Begriff, der vom Pfarrer und politischen Ökonomen Thomas Malthus 1798 formuliert und von Charles Darwin übernommen wurde) darf man sich nicht als einen sprichwörtlichen Kampf zwischen Individuen vorstellen; es handelt sich dabei normalerweise mehr um ein Sich-Bemühen der Individuen, mit den jeweils herrschenden Bedingungen zurecht zu kommen. Mit «Bedingungen» sind beispielsweise gemeint: Ressourcenknappheit, Krankheiten und Parasiten, Feinde, extreme Temperaturen, Schwankungen von Umweltparametern und vieles andere.

Natürliche Selektion findet statt, weil die Individuen jeder Generation sich normalerweise in erblichen Merkmalen voneinander unterscheiden (Einzigartigkeit des Individuums), was eine unterschiedliche Eignung der Individuen bedeutet, mit den Bedingungen zurecht zu kommen. Nicht-zufälliges unterschiedliches Überleben und unterschiedliche Fortpflanzung bedeuten, dass die jeweils herrschenden Bedingungen, denen ein Individuum ausgesetzt ist, darüber «bestimmen», welche Individuen im «Kampf ums Dasein» besser resp. schlechter bestehen. Hierbei spielen aber auch zufällige Ereignisse eine Rolle. So kann beispielsweise ein sehr gut geeignetes Individuum vorzeitig einem unvorhersagbaren Ereignis zum Opfer fallen. Bei diesen unterschiedlichen Überlebens- und Fortpflanzungsraten aufgrund der Eignung handelt es sich daher um statistische Grössen, sie müssen nicht jedes Einzelindividuum in vorhersagbarer Weise betreffen.

Durch die bessere Überlebens- und Fortpflanzungsrate der geeigneteren Individuen und die schlechtere oder überhaupt fehlende der weniger geeigneten ändert sich die genetische Zusammensetzung einer Population von Generation zu Generation. Es findet evolutiver Wandel statt (→ Evolution), indem die weniger Geeigneten zugunsten der besser Geeigneten eliminiert werden. Dieser evolutive Wandel ergibt sich ferner zusätzlich aus der Tatsache, dass sich jede Folgegeneration auch aufgrund von → genetischer Drift sowie von → Mutation und → Rekombination (vor allem bei der Bildung der Keimzellen) von ihrer Elterngeneration unterscheidet. Das genetische «Ausgangsmaterial» für Selektionsprozesse ist also auch deswegen im Vergleich zweier Generationen nie

ganz dasselbe. All dies gilt selbstverständlich für alle Arten in einem Lebensraum, womit sich die Bedingungen auch für jede einzelne Art des Lebensraumes ständig ändern.

Evolutiver Wandel bedeutet gleichzeitig Anpassung (→ Adaptation) an die Bedingungen. Jede Generation ist also an die Bedingungen meist etwas besser angepasst, als ihre Elterngeneration. Da die Bedingungen aber niemals stabil sind, hören Anpassungsvorgänge auch nie ganz auf und ändern immer wieder ihre «Richtung». Daher gibt es keine für alle Zeiten vorgegebene Richtung, in welche die Evolution laufen würde.

Der Begriff der natürlichen Selektion ist untrennbar mit Charles Darwin verbunden, der ihn in seinem weltberühmten Buch «On the origin of species» 1859 erstmals formulierte und überzeugend begründete, dass das Prinzip der natürlichen Auslese das wichtigste Erklärungsmodell für Evolution darstellt.

Nukleinsäuren

→ DNA und → RNA.

Parthenogenese

Entstehung voll entwickelter Organismen aus unbefruchteten Eizellen.

Bei der Parthenogenese (etwas antiquiert auch als «Jungfernzeugung» bezeichnet) sind keine Männchen für die Fortpflanzung nötig. Meistens entstehen dabei aus → diploiden Eizellen weibliche Individuen. Diese Art der Vermehrung hat den Vorteil, dass sie sehr rasch vonstatten geht und damit beispielsweise eine schnelle Nutzung neu entstandener Lebensräume möglich wird. Der Nachteil der parthenogenetischen Vermehrung liegt darin, dass eine parthenogenetisch entstandene Generation normalerweise aus genetisch identischen Individuen besteht. Bei den Bienen, Wespen und Ameisen entstehen die Männchen immer auf parthenogenetischem Wege aus haploiden Eizellen.

Phänotyp

Die Gesamtheit der durch die Wirkung des Erbguts und der Umwelt verursachten Eigenschaften eines Organismus (→ Genotyp).

Dazu gehören beispielsweise alle Eigenheiten des Körperbaus, das Verhalten, die physiologischen Mechanismen und die biochemischen Eigenschaften (wie z.B. der Aufbau der Eiweisse) eines Organismus.

Phylogenese

Stammesgeschichte. Derjenige Prozess, bei dem aus einer → Stammart (zumeist) durch fortlaufende Artaufspaltungen neue Artengruppen entstehen.

Die Phylogenese ist damit ein Teilprozess der → Evolution. Die zutreffendste Darstellungsform der Phylogenese einer Organismengruppe ist ein dichotom verzweigter Stammbaum. Allerdings können → Arten auch durch → Hybridisierung entstehen, ferner kann zwischen Arten → horizontaler Gentransfer stattfinden. In diesem Fall entspricht die Darstellung der Evolution einer Organismengruppe eher einem Netzwerk, als einem Stammbaum.

Pleiotropie

Die → phänotypische Wirkung eines → Gens auf mehr als ein Merkmal.

Polymorphismus (genetischer Polymorphismus)

Das regelmässige Auftreten mehrerer distinkter → Phänotypen entsprechender Entwicklungsstadien von Individuen einer → Population in der gleichen Generation, bedingt durch genetische Unterschiede (→ Polyphänismus).

Ein bekanntes Beispiel für Polymorphismus ist die Rechts- und Linkshändigkeit beim Mensch.

Polyphänismus (Umwelt-induzierter Polymorphismus)

Das regelmässige Auftreten mehrerer distinkter → Phänotypen entsprechender Entwicklungsstadien einer → Population in der gleichen Generation, wobei bestimmte, im genetischen Programm vorgesehene Aussenfaktoren in einem festgelegten Lebensabschnitt darüber entscheiden, welcher der genetisch möglichen Phänotypen realisiert wird.

Ein bekanntes Beispiel für Polyphänismus sind unsere heimischen Forellen, bei denen das Nahrungsangebot und die Populationsdichte in der Jugend darüber entscheiden, ob sich die Tiere zu stationären Bachforellen oder wandernden Seeforellen entwickeln.

Polyploide Organismen

Organismen mit mehr als zwei Sätzen von → Genen (→ Haploide Organismen, → Diploide Organismen).

Population

Alle Individuen einer → Art, die ein mehr oder minder genau definiertes geographisches Gebiet bewohnen und sich untereinander mit höherer Wahrscheinlichkeit fortpflanzen als mit Individuen anderer Populationen.

Genetisch unterschiedliche Populationen einer Art sind oft die Vorläufer neuer Arten. Die Erkenntnis der fundamentalen evolutionären Bedeu-

tung unterschiedlicher Populationen hat dazu geführt, dass die Populationsbiologie – insbesondere die Populationsgenetik – heute eine der aktivsten und erfolgreichsten Disziplinen der Naturwissenschaften ist.

Prokaryota

Alle Organismen, bei denen die → DNA nicht in einem Zellkern zusammengefasst ist, sondern frei in der Zelle liegt. Prokaryoten besitzen auch niemals → Mitochondrien (→ Eukaryota).

Die bekanntesten Prokaryoten sind die Bakterien. Aus (natürlich ausgestorbenen) Prokaryoten gingen die Eukaryota hervor.

Rekombination

Neuanordnung von genetischem Material – im engeren Sinne von → Allelen – in der Zelle. Durch diese Neuanordnung entstehen Individuen mit neuen Merkmalskombinationen.

Rekombination tritt vor allem (aber nicht nur) bei der Entstehung der Keimzellen (Eizellen, Spermien) auf. Damit gleicht keine Generation völlig ihrer Elterngeneration (→ natürliche Selektion). Rekombination und → Mutation verursachen die genetische Vielfalt innerhalb der Populationen und Arten.

RNA

Ribonukleinsäure, ein in allen belebten Zellen vorkommendes Molekül, welches vielfältige Aufgaben in der Zelle, darunter die Umsetzung der genetischen Information der → DNA in Eiweiße, wahrnimmt. Die RNA besteht unter anderem aus Sequenzen vier verschiedener in unterschiedlicher Reihung aneinandergehängter stickstoffhaltiger Basen (Adenin, Uracil, Guanin und Cytosin). Die RNA kann als Einzel- oder (seltener) als Doppelstrang vorliegen.

Replikation

Verdoppelung der → DNA während der Zellteilung.

Diese Verdoppelung (auch »Reduplikation« genannt) ist nötig, da ansonsten die beiden Tochterzellen nur je einen halben Satz von → Genen hätten. Bei der Replikation kann es zu Fehlern während des »Kopiervorganges« kommen, → Mutation.

Selektion

Nichtzufälliges unterschiedliches Überleben und nichtzufällige unterschiedliche Fortpflanzung von verschiedenen Klassen von Einheiten, die sich in zumindest einem Merkmal unterscheiden.

Dies ist eine sehr allgemeine Definition von Selektion. Mit «Einheiten» sind beispielsweise → Gene oder Organismen gemeint (→ natürliche Selektion, ferner → sexuelle Selektion, → künstliche Selektion).

Sexuelle Selektion

→ Selektion auf Eigenschaften zur Gewinnung von Partnern für die Fortpflanzung.

Sexuelle Selektion kann innerhalb eines Geschlechts stattfinden (z.B. Kämpfe zwischen Männchen um den Zugang zu paarungsbereiten Weibchen) oder auch zwischen den Geschlechtern (z.B. Weibchenwahl – das Weibchen wählt unter mehreren potentiellen Partnern aufgrund bestimmter Eigenschaften den geeignetsten Vater für ihren Nachwuchs aus). Sexuelle Selektion kann zur Bildung scheinbar «extravaganter» Merkmale führen: Das Balzverhalten und das prachtvolle Federkleid vieler männlicher Vögel sind extrem auffällig, oft hinderlich, und kosten das Männchen viel Energie. Sie signalisieren aber dem Weibchen beispielsweise Überlebensfähigkeit und Parasitenresistenz trotz «Handicap» und damit die gute genetische Qualität des Männchens. Die Folge ist, dass sich Weibchen nicht wahllos mit Männchen paaren, sondern → assortativ mit den männlichen Trägern derjenigen Merkmale, die bessere genetische Qualität signalisieren. «Gute genetische Qualität» muss nicht immer absolut gelten («good genes»), sondern kann auch bedeuten, dass die spezifische Genausstattung des Männchens zu einem bestimmten Weibchen besser passt, als zu anderen («compatible genes»).

Somatische Zellen (Somazellen)

Alle Zellen eines Körpers, die keine → Keimzellen sind.

Genetische Veränderungen an den Somazellen können im Allgemeinen nicht auf die nächste Generation von Organismen vererbt werden (Ausnahme: z.B. ungeschlechtliche Vermehrung).

Speziation

Die Bildung neuer → Arten aus (meist) einer → Stammart.

Es gibt mehrere verschiedene Modi, wie neue Arten entstehen können. Meistens (aber nicht immer) geht der Artenbildung irgendeine Form der Auftrennung einer ursprünglichen → Population in zwei (oder mehrere) Tochterpopulationen voraus. Diese Auftrennung kann in geographischen Ereignissen begründet sein (Änderung von Flussläufen, Auffaltung von Gebirgsketten etc.), es kann sich dabei um klimabedingte Fragmentierung eines zuvor geschlossenen Lebensraumes handeln, um die Besiedelung neuer Lebensräume durch → Gründerpopulationen, um das Erobern einer neuen Wirtsart, beispielsweise durch pflanzenfressende Insekten

oder Parasiten, u.s.w. Sind die Populationen einmal getrennt, passen sie sich an die jeweils herrschenden Bedingungen an (→ Adaptation) und entwickeln sich – da die Bedingungen in verschiedenen Lebensräumen nie identisch sein können – unterschiedlich. Diese unterschiedliche (divergierende) Entwicklung kann zu eingeschränkten Fortpflanzungsmöglichkeiten zwischen den Vertretern der getrennten Populationen (→ Isolationsmechanismus) und in der Folge zur Entstehung zweier (oder mehrerer) neuer Arten führen. Im Fall von Artenbildung durch → Hybridisierung hat die Hybridart zwei Ausgangsarten. Neue Arten können wahrscheinlich auch durch andere Mechanismen wie z.B. die zeitliche Verschiebung der sexuellen Aktivitätsperiode oder durch → sexuelle Selektion entstehen, ohne dass es dabei zu einer räumlichen Trennung von Populationen kommen muss.

Stammart

Ausgestorbene Vorläuferart einer Gruppe von → Arten.

Man geht davon aus, dass die Existenz einer Stammart bei der Entstehung zweier (oder mehrerer) neuer Arten endet. Im Falle der Artenbildung durch → Hybridisierung muss dies jedoch nicht der Fall sein (→ Speziation).

Symbiose

Zusammenleben zweier Organismen zum gegenseitigen Nutzen.

Verwandtenselektion

Eine Form der → Selektion, bei der sich → Allele in ihrer Vermehrungsrate unterscheiden, indem sie (über ihre Träger, die Individuen) das Überleben und die Fortpflanzung von verwandten Individuen beeinflussen, welche aufgrund gemeinsamer Abstammung Kopien derselben Allele tragen (→ Altruismus).

Verwandtenselektion ist bei Tieren weit verbreitet. Fast alle Formen von scheinbarem Altruismus lassen sich mit Verwandtenselektion erklären.

Literatur

Campbell, N.A./Reece, J.B., 2006: Biologie. 6. Auflage. Pearson Studium München, 1606 pp.

Futuyma, D. J., 2006: Evolution. 3rd ed. Sinauer Associates Inc. 763 pp.

Purves, W.K./Sadava, D./Orians, G.H./Heller, H.C., 2006: Biologie. Herausgegeben von Jürgen Markl, 7. Auflage. Elsevier GmbH München, 1577 pp.

Roozpeikar, M./Hertwig, S./Kropf, C./Ryser, M./Güntert M., 2009: Es war einmal ein Fink. 150 Jahre Evolutionstheorie. Naturhistorisches Museum der Burgergemeinde Bern, 39 pp.

Teil 1 Darwins Erbe

