

HOTSPOT



DARWIN

UND DIE BIODIVERSITÄT

BIODIVERSITÄT: FORSCHUNG UND PRAXIS IM DIALOG



INFORMATIONEN DES FORUM BIODIVERSITÄT SCHWEIZ





Foto: Joes Schmid

Wenn man das weltweite Forschungsvolumen betrachtet, so hat die Biologie erst ab 1980 die Physik als «Leitdisziplin» abgelöst. In der Biologie machte es die unglaubliche Variabilität der Untersuchungsgegenstände schwierig, allgemeine Gesetzmässigkeiten zu finden. Für viele Phänomene musste der Zufall als Erklärung herangezogen werden. Berühmte Physikernamen sind mit der Formulierung physikalischer Gesetzmässigkeiten verbunden. In der Biologie fällt es schwer, solche Namen zu nennen.

Charles Darwin ist in der Biologie die grosse Ausnahme. Was mir bei Darwin gegenüber Physikern als einzigartig auffällt – und wohl typisch für den Unterschied zwischen den Fachgebieten ist – ist sein radikaler Empirismus, der auf ausgiebiger, genauer und unvoreingenommener Beobachtung beruht. Eine Beobachtung, die Variabilität nicht als «Rauschen» betrachtet, sondern ins Zentrum stellt. Bei diesem Ansatz wird zunächst weniger hypothesenorientiert gearbeitet.

Die genaue Beobachtung der Variabilität in der Natur ermöglichte es Darwin, seine geniale Theorie der Biodiversität, die Evolutionstheorie, zu formulieren. Genial finde ich diese Theorie deshalb, weil sie gleichzeitig universell ist und Variabilität erklärt. Lange Zeit hat sich die Biologie darauf konzentriert, her-

auszufinden, wie aus dem Ausgangsmaterial Variabilität entsteht. Interessanterweise dauerte es viel länger, bis auch der zweite Aspekt von Darwins Theorie, nämlich die Variabilität selbst, vermehrt in den Blick biologischer Forschung gelangte. Dies obwohl Darwin bereits 1858 zusammen mit Wallace die These postulierte, dass mehrere Arten gemeinsam eine erhöhte Primärproduktion erreichen können als einzelne Arten.

Darwins genialer Theorie kommt heute nicht nur über die Biologie hinaus allgemeine Bedeutung zu, sondern sie hat auch unser Weltbild radikal verändert. Wir können nicht mehr davon ausgehen, dass die Biodiversität in ihrer grossen Formenfülle gegeben ist. Vielmehr sind wir selbst wesentlich verantwortlich dafür, welche Biodiversität und welche Arten wir haben. Dies bedeutet eine hohe Selbstverantwortung. Ich hoffe, dass immer mehr Menschen sie annehmen werden.

Prof. Dr. Bernhard Schmid
Institut für Umweltwissenschaften
Universität Zürich

IMPRESSUM Das Forum Biodiversität fördert den Wissensaustausch und die Zusammenarbeit zwischen Biodiversitätsforschung, Naturschutz, Landwirtschaft und Bildung. **HOTSPOT** ist eines der Instrumente für diesen Austausch. **HOTSPOT** erscheint zweimal jährlich in Deutsch und Französisch; PDFs stehen zur Verfügung auf www.biodiversity.ch. Die Jubiläumsausgabe **HOTSPOT 20|2009** erscheint im September 2009. **Herausgeber:** © Forum Biodiversität Schweiz, Bern, Februar 2009. **Redaktion:** Dr. Gregor Klaus (gk), Dr. Daniela Pauli (dp), Danièle Martinoli (dm), Pascale Larcher (pl), Sylvia Martinez (sm). **Gestaltung / Satz:** Esther Schreier, Basel. **Druck:** Koelblin-Fortuna Druck, Baden-Baden. **Papier:** RecyMago 115 g/m², 100% Recycling. **Auflage:** 3800 Ex. dt., 1100 Ex. fr. **Kontakt:** Forum Biodiversität Schweiz, Schwarztorstrasse 9, CH-3007 Bern, Tel. +41 (0)31 312 0275, biodiversity@scnat.ch, www.biodiversity.ch. **Geschäftsleiterin:** Dr. Daniela Pauli. **Produktionskosten:** 15 CHF/Heft. Um das Wissen über Biodiversität allen Interessierten zugänglich zu machen, möchten wir den HOTSPOT wei-

terhin gratis abgeben. Wir freuen uns über Unterstützungsbeiträge. **HOTSPOT-Spendenkonto:** PC 30-204040-6. Manuskripte unterliegen der redaktionellen Bearbeitung. Die Beiträge der Autorinnen und Autoren müssen nicht mit der Meinung der Redaktion übereinstimmen.



Forum Biodiversität Schweiz
 Forum Biodiversité Suisse
 Forum of the Swiss Academy of Sciences

DARWIN UND DIE BIODIVERSITÄT

- 3 Das Geheimnis von der Entstehung der Vielfalt
 Von Gregor Klaus
- 4 Darwin und die Entdeckung der biologischen Vielfalt in der frühen Neuzeit
 Von Jürg Stöcklin
- 6 Darwin als Systematiker
 Von Reto Nyffeler
- 8 «Die Evolutionstheorie ist kein fiktives Gebäude, sondern eine Tatsache»
 Ein Interview mit Heinz Richner
- 10 Autorinnen und Autoren
- 12 Darwins Idee der Artentstehung
 Von Walter Salzburger und Dieter Ebert
- 14 Darwin und die Naturschutzbiologie
 Von Claus Wedekind
- 16 Darwins Erbe
 Von Daniel Prati und Markus Fischer
- 18 Evolution MegaLab
 Von Bruno Baur und Eva Inderwildi

- 19 SCHWEIZERISCHE KOMMISSION FÜR DIE ERHALTUNG VON KULTURPFLANZEN (SKEK)
 Die Erhaltungsarbeit der SKEK im Kontext der Evolutionstheorie Darwins
 Von Robert Zollinger
- 20 FORUM BIODIVERSITÄT SCHWEIZ
 Der Countdown 2010 läuft
 Von Daniela Pauli
- 21 BUNDESAMT FÜR UMWELT (BAFU)
 Der Schweizer Clearinghouse Mechanismus
 Von Eric Wiedmer
- 22 BIODIVERSITÄTS-MONITORING SCHWEIZ (BDM)
 Anpassungsfähige Arten erobern die Siedlungen
 Von Urs Draeger
- 24 BÜCHER ZUM DARWIN-JAHR

Umschlag (von oben):
 1: Insel Plaza Sur, Galapagos.
 2: Charles Darwin, *Reise eines Naturforschers um die Welt – Tagebuch auf der Reise mit dem «Beagle»* (1839; dt. Ausg. 1909, S. 230–231).
 3: Meerechse (*Amblyrhynchus cristatus*) auf Galapagos. Darwin schreibt dazu in seinem *Tagebuch*: «Diese ungeheuren Reptilien, inmitten der schwarzen Lava, den blattlosen Sträuchern und grossen Kakteen schießen meiner Phantasie wie vorsintflutliche Wesen. [...] Es ist ein hässliches Geschöpf, von schutzgigschwarzer Färbung, dumm und träge in seinen Bewegungen.»
 4: Ausschnitt aus der Muschelsammlung des Naturhistorischen Museums Basel.
 Fotos Beat Ernst, Basel

Das Geheimnis von der Entstehung der Vielfalt

Vor 150 Jahren publizierte Darwin seine Theorie der Evolution

Von Gregor Klaus, Redaktor

«Ich will zunächst eine kurze Übersicht über die Entstehung der Ansichten von der Entstehung der Arten geben. Bis vor kurzem glaubte die grosse Mehrzahl der Naturforscher, die Arten seien unveränderlich und jede einzelne sei für sich erschaffen worden, eine Ansicht, die sehr geschickt verteidigt wurde. Nur wenige Naturforscher nahmen an, dass die Arten veränderlich und die heute lebenden Formen regelrechte Nachkommen früher vorhandener Formen seien.»

Mit diesen Worten begann Charles Darwin (1809–1882) die sechste Auflage seines bahnbrechenden Buches «Die Entstehung der Arten», dessen Erstausgabe vor 150 Jahren erschienen ist. Das Buch hat unsere Wahrnehmung des Lebens bis heute entscheidend geprägt. Darwin konnte als erster überzeugend die Frage aller Fragen beantworten: Wie ist die unermessliche Vielfalt des Lebens entstanden, zu der auch der Mensch zählt? Die Antwort war für damalige Verhältnisse revolutionär: Nicht ein göttlicher Ingenieur hat die atemberaubende Vielfalt erschaffen – die Schöpfung hat sich vielmehr selbst hervorgebracht.

Die Natur war es auch, die Darwin auf seiner fünfjährigen Weltumrundung auf dem Vermessungsschiff «Beagle» (Spürhund) die Augen geöffnet hat. Die berauschte Vielfalt an Organismen, die zeitliche Abfolge von Fossilien in Gesteinsablagerungen, die Schwierigkeiten, die gesammelten Arten und Varietäten deutlich voneinander abzugrenzen, und die unübersehbaren Anpassungen der Organismen an unterschiedliche Verhältnisse führten den genialen Biologen dazu, an der Unveränderlichkeit der Arten zu zweifeln.

Bereits 1837, also ein Jahr nach seiner Expedition, skizzierte Darwin in seinem Notizbuch erstmals seine Idee vom Baum des Lebens (Abbildung S. 5). Nach langem Zögern publizierte er 1859 endlich sein Buch «Die Entstehung der Arten», dessen erste Auflage von 1250 Exemplaren am Erscheinungstag bereits vergriffen war. Das Werk enthält zwei getrennte Thesen: Alle Organismen stammen durch Modifika-

tion von gemeinsamen Vorfahren ab, und die Hauptursache der Veränderung – der Mechanismus der Evolution – ist das Werk natürlicher Selektion der individuellen Variation, die sogenannte natürliche Auslese. Seine Beweisführung ist akribisch, die Bausteine seines Gedankengebäudes solide.

Leider hat die Theorie Darwins, der «Darwinismus», eine Fülle von Missdeutungen erfahren müssen, die nichts mit Darwins biologischer Beweisführung zu tun hatten. Der unglückliche Begriff «Kampf ums Dasein» – eine wenig exakte, ideologisch belastete, deutsche Übersetzung des Begriffs «struggle for live» – wurde als Entschuldigung für die Ausbeu-



tungspraktiken des industriellen Zeitalters, für soziale Klassenkämpfe und für Rassendiskriminierungen gebraucht. Dabei besagt der viel zitierte Ausdruck «survival of the fittest» – das Überleben der Tauglichsten – nicht, dass die Stärksten überleben, sondern dass diejenigen in einer Population Vorteile haben, die am besten an die gerade herrschenden Umweltbedingungen angepasst sind und daher am meisten Nachkommen erzeugen können.

Der nach Darwin vielleicht bekannteste Evolutionsbiologe Ernst Mayr erklärte kurz vor seinem Tod im Februar 2005: «Nach allem was man heute weiss, ist es eigentlich irreführend, die Evolution als Theorie zu bezeichnen.» Ernstzunehmende Belege, die gegen die Evolutionstheorie sprechen, gibt es nämlich keine. Umso überraschender sind Umfrageergebnisse aus den USA: Demnach ist die Hälfte der Bevölkerung davon überzeugt, dass alle natürlichen Phänomene ihre Existenz dem planvollen Handeln des «Creators», des Schöpfungsgotts, verdanken.

Nach Ansicht vieler Kreationisten steht die Geschichte der Menschheit detailgenau in der Genesis geschrieben. Die Vorstellungen der Vertreter des «intelligent design» sind abenteuerlich und beruhen auf der Verdrängung wissenschaftlich fundierter Tatsachen. Hochakademische Details werden mit archaischen Bibelbildern so geschickt miteinander verknüpft, dass jegliche Diskussion ad absurdum geführt wird. Leider wächst auch in der Schweiz seit Jahren der Einfluss der Kreationisten (siehe S. 8ff).

Darwins Theorie hat das Selbstverständnis des Menschen zutiefst erschüttert. Auch Darwin hat darunter gelitten, dass er auf Grund seiner biologischen Kenntnisse keinen Schöpfergott als Erklärung für die natürliche Vielfalt mehr benötigte. Zur Frage, wie der erste Lebensfunke gezündet wurde, schrieb Darwin am Ende seines Buches diplomatisch: *«Es ist wahrlich etwas Erhabenes um die Auffassung, dass der Schöpfer den Keim allen Lebens, das uns umgibt, nur wenig oder gar nur einer einzigen Form eingehaucht hat und dass, während sich unsere Erde nach den Gesetzen der Schwerkraft im Kreise bewegt, aus einem so schlichten Anfang eine unendliche Zahl der schönsten und wunderbarsten Formen entstand und noch weiter entsteht.»* ■

Darwin und die Entdeckung der biologischen Vielfalt in der frühen Neuzeit

Von Jürg Stöcklin, Botanisches Institut der Universität Basel, CH-4056 Basel, juerg.stoecklin@unibas.ch

Charles Darwin markiert eine Zäsur in der Geschichte der Biologie. Seine Evolutionstheorie ist eine Erklärung für die Entstehung der Biodiversität auf der Erde. Gleichzeitig markiert seine Idee den Abschluss einer historischen Entwicklung. Die Entdeckung des faszinierenden Reichtums an Arten zu Beginn der Neuzeit führte über die Beschreibung ihrer abgestuften Ähnlichkeit fast zwangsläufig zum Evolutionsgedanken.

Die Veröffentlichung von Darwins Buch über «Die Entstehung der Arten» im Jahr 1859 ist ein Schlüsselereignis in der Wissenschaftsgeschichte des 19. Jahrhunderts. Das Buch schlug ein wie eine Bombe und hat das Weltbild der Moderne ebenso stark beeinflusst wie die Umwälzungen in der Physik im 16. und 17. Jahrhundert. Das bestehende Weltbild wurde biologisiert. Die Geschichte der Menschheit wurde damit in die Tiefenzeit der Naturgeschichte eingebettet.

Zumindest die biblischen Schöpfungsmythen waren unvereinbar mit der Theorie Darwins – die Vorstellung eines göttlichen Wesens dagegen nicht unbedingt. Noch im 18. Jahrhundert glaubte man auf Grund von Abschätzungen der Generationenfolge im Alten Testament, dass seit der Erschaffung der Erde rund 6000 Jahre vergangen seien. Geologen zweifelten im 18. Jahrhundert als erste an den gängigen Altersvorstellungen der Erde, weil die Sedimentierung von mehreren Metern dicken Gesteinsschichten viel längere Zeiträume erforderte. Für Darwin waren diese Schätzungen eine Offenbarung, weil seine Theorie der allmählichen Umwandlung und Entstehung von Arten viel mehr Zeit erforderte, nämlich Hunderte von Jahrmillionen.

Darwin als «Newton der Biologie»?

Darwin wird wegen seiner bahnbrechenden Erkenntnisse nicht selten als «Newton

der Biologie» bezeichnet. Diese Charakterisierung Darwins ist jedoch irreführend und wird der naturgeschichtlichen Tradition der biologischen Wissenschaften und damit auch derjenigen Darwins nicht gerecht. Gemäss der gängigen Darstellung haben Astronomie und Physik im 16. und 17. Jahrhundert eine wissenschaftliche Revolution verursacht und mit den mittelalterlichen Vorstellungen radikal gebrochen. Das Wesen dieser Revolution war allerdings nicht der Empirismus, die Beobachtung und Beschreibung der Natur, sondern geradezu das Gegenteil, ihre Mathematisierung, die Abstraktion von der konkreten Natur. In dieser Tradition wurde das mechanistische Weltbild zum Paradigma, welches die Natur durch physikalische und mathematisch fassbare Gesetzmässigkeiten zu beschreiben sucht.

Die Naturgeschichte des 16. und 17. Jahrhundert passte überhaupt nicht in dieses von der Physik geprägte Weltbild, sondern wird bis heute von Wissenschaftshistorikern als vorwissenschaftlich, deskriptiv und atheoretisch kritisiert. Dies deshalb, weil sich die biologischen Wissenschaften der frühen Neuzeit auch mit Mythen über fremdländische Tiere und Pflanzen oder mit regionalen Besonderheiten befassten. Sammlungen von Raritäten und Kuriositäten aus fremden Ländern spielten eine wichtige Rolle. Modern wurden die biologischen Wissenschaften aus dieser Sicht erst, als sich unter dem Einfluss von René Descartes (1596–1650) die Anatomie und Physiologie als experimentelle Wissenschaften etablierten.

Die Charakterisierung von Darwin als «Newton der Biologie» lässt nicht nur ausser Acht, dass dieser ein klassischer Naturforscher in der Tradition des 17. und 18. Jahrhunderts war. Diese Charakterisierung ignoriert auch, dass sich zu Beginn der Neuzeit nicht nur das physikalische Weltbild verändert hat, sondern sich gleichzeitig eine völlig neue Wahrnehmung

der belebten Natur vollzog, die sehr rasch das überlieferte Verständnis dieser Natur in Frage stellte.

Es ist bezeichnend, dass das von der Physik geprägte Bild der wissenschaftlichen Revolution die Entdeckung der Artenvielfalt und die damit einhergehende Entstehung von Taxonomie und Systematik in den biologischen Wissenschaften völlig ausblendet. Die Neugier auf die Natur ist Teil jenes Aufbruchs, der mit der Renaissance beginnt, sich fortsetzt mit der Erforschung von geographischen Gegenden, die man bisher gemieden hat, und schliesslich als Folge der Suche nach dem Seeweg nach Indien, zur «Entdeckung» Amerikas führte. Entdeckt wurde dabei eine unbekannte Welt und eine unermessliche Artenvielfalt, über welche die Bücher der Alten nicht berichtet hatten. Christoph Kolumbus notierte beispielsweise in seinem 1492 veröffentlichten Bordbuch: *«Ich kann nicht leugnen, dass diese Insel, die ich Isabella getauft habe, Fernandina an Schönheit übertrifft. Es quält mich sehr, dass ich die vielen Kräuter, Sträucher und Pflanzen nicht kenne, die vielleicht für die Erzeugung von Farben, Arzneien und Gewürzen von grossem Wert sein mögen. Ich werde von den meisten Proben mit nach Hause nehmen.»*

Die neu entdeckte Vielfalt musste dokumentiert, gesammelt und beschrieben werden. Die rasante Entwicklung lässt sich anhand der Zahl bekannter Pflanzenarten veranschaulichen. 1536 kannte das «Neue Kräuterbuch» von Otto Brunfels rund 300 nach der Natur beschriebene Pflanzenarten. Der Basler Caspar Bauhin listete 1623 bereits 6000 Arten auf, bei Carl v. Linné (1707–1778) waren es schon über 20 000. Die Begeisterung über die entdeckte Vielfalt äussert sich in immer ausgedehnteren Forschungsreisen in aussereuropäische Länder, in der Gründung botanischer Gärten und von Zoos mit exotischen Tieren und in riesigen Sammlungen von Naturalien. Die Auflistung der Mannigfaltigkeit genügte

den Forschern längst nicht mehr. Fragen der Nomenklatur (Namensgebung), der Identifizierung (wie ähnlich müssen Individuen sein, um zur selben Art zu gehören), und schliesslich der Klassifizierung (Ordnung der Vielfalt und deren Kriterien) wurden zu einem beherrschenden Thema.

In der Systematik, Morphologie und Anatomie etablierten sich Beobachtung und Vergleich als kritische Methoden. Die Einzigartigkeit, aber auch die auffallende Zweckmässigkeit der Lebensformen, relativierte demgegenüber die Bedeutung deterministischer Gesetzmässigkeiten in den biologischen Wissenschaften. Die ersten gefundenen biologischen Gesetze wie die Mendelschen Regeln sind probabilistisch und gehorchen den Regeln der Wahrscheinlichkeit.

Der Weg zum Evolutionsgedanken

Nicht zu übersehen war hingegen, dass sich die beobachtete Vielfalt auf Grund ihrer abgestuften Ähnlichkeiten fast zwanglos in eine Ordnung bringen liess. Darüber konnten sich die Naturforscher rasch verständigen, auch darüber, dass diese Ordnung vernünftig und begreifbar sein musste. Die Suche nach den Kriterien dieser Ordnung stand seit der

Mitte des 16. Jahrhunderts im Zentrum der praktischen und theoretischen Anstrengungen der Naturforscher. Selbst für Linné, der in seinem System der Pflanzen diese Ordnung nach einem einfachen rationalen Prinzip, der Zahl der Staubblätter in der Blüte, abzubilden versuchte, war klar, dass dieses «künstliche System» nicht die abschliessende Antwort auf die abgestuften Ähnlichkeiten sein konnte.

Im 18. Jahrhundert wurde zunehmend die «Gesamtähnlichkeit» zum Ordnungskriterium «natürlicher» Klassifikationsysteme, welche die von Gott gegebene Ordnung der Dinge abbilden sollte. Die hierarchische Struktur solcher Systeme mit Art, Gattung, Familie etc. liess sich nach Darwin widerspruchsfrei in eine stammesgeschichtliche Verwandtschaft umdeuten. Es brauchte wenig, die hierarchischen Stufen als eine Abfolge in der Zeit zu verstehen, umso mehr als sich dies auch auf Grund der beobachteten Abfolge von Fossilien in Gesteinsschichten aufdrängte.

Die intensive Beschäftigung mit der abgestuften Ähnlichkeit der Organismen hatte neben der Aufdeckung von Verwandtschaftsverhältnissen noch eine weitere, subversive Wirkung. Sie unterminierte den Glauben an die Konstanz der Arten. Variation und damit

das Zentralthema der Evolutionstheorie Darwins blieb den genau vergleichenden Systematikern nicht verborgen – ganz im Gegenteil: Es wurde zunehmend zur Herausforderung, die Entstehung und Ursachen von Varietäten zu verstehen. Der botanische Lehrer Darwins, John Henslow (1796–1861), ein überzeugter Kreationist, beschäftigte sich Zeit seines Lebens mit der Ursache morphologischer Varietäten, die er bei Pflanzen beobachtete. Nicht unwahrscheinlich ist, dass er dadurch einen der Keime säte, der später bei Darwin zu seinem Heureka beitrug.

Als Folge der Beschäftigung mit Vielfalt und Variation ging anfangs des 19. Jahrhunderts die Welt mit dem Evolutionsgedanken schwanger. Beweis dafür ist Alfred R. Wallace (1823–1913), der fast zeitgleich mit Darwin denselben Mechanismus für die Evolution vorschlug. Was Darwin gegenüber Wallace auszeichnete, war die jahrzehntelange Überprüfung seiner Hypothese anhand einer Unzahl von Fakten und die Ausarbeitung und Verfeinerung seiner Idee zu einer überzeugenden Theorie, die bis heute die Forschung befruchtet. Die wesentlichen Elemente von Darwins Evolutionstheorie haben sämtliche Anfechtungen überstanden. ■

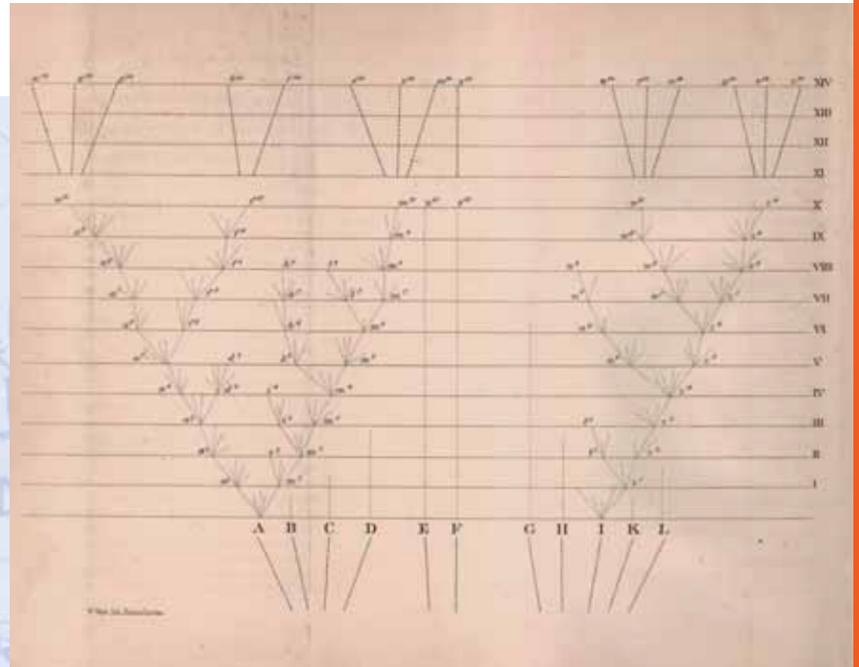
Evolutionstheorie im Bild

Darwins Baum des Lebens



(gk) Das Evolutionsdiagramm rechts ist die einzige Abbildung in Darwins Buch «Die Entstehung der Arten». Es lag als ausfaltbare Klapptafel zwischen den Seiten 116 und 117 und zeigt die Grundpfeiler seiner Evolutionstheorie. Auf mehreren Seiten führt Darwin seine Leser durch den Gang der Evolution. Die Buchstaben A bis L bezeichnen verschiedene Arten ein und derselben Gattung. Die Zwischenräume zwischen den Querlinien entsprechen je 1000 Generationen.

Die von den einzelnen Punkten fächerförmig auslaufenden punktierten Linien deuten das Variieren der Arten an. Beim ersten Querbalken hat Art A zwei gut ausgeprägte Varietäten hervorgebracht. Darwin schreibt dazu: «Nur Veränderungen, die irgendwie nützlich sind, werden erhalten oder von der natürlichen Zuchtwahl verwertet». Varietät m1 hat dabei die Nische der Art B besetzt, die ausstirbt. Andere Arten wie Art F führen ihre Geschichte in gerader Linie fort. Nach 14 Generationen sind acht Arten ausgestorben. Art A hat acht Arten hervorgebracht, Art J sechs. Das Diagramm verdeutlicht in all seiner Vielschichtigkeit die Grundgedanken der Evolutionstheorie: Variation und Selektion. Darwins erster Hinweis im Buch auf das Diagramm befindet sich am argumentativen Wendepunkt seiner Ausführungen. Das kleine Bild links zeigt eine Seite aus Darwins «Rotem Notizbuch», auf der er 20 Jahre zuvor versucht hat, Überlegungen zur Verwandtschaft von Arten zu visualisieren.



Darwin als Systematiker

Die Bedeutung seiner Sammlungsbelege

Von Reto Nyffeler, Institut für Systematische Botanik der Universität Zürich, CH-8008 Zürich, rnyffeler@systbot.unizh.ch

Darwin hat das Rätsel vom Ursprung der Arten gelöst. Als Grundlagen dienen ihm seine breit abgestützten, naturgeschichtlichen Beobachtungen während seiner fünfjährigen Reise auf dem Forschungsschiff *Beagle* sowie die wissenschaftliche Bearbeitung seiner umfangreichen Sammlung während den beiden Jahrzehnten nach seiner Reise. Die Faszination für Darwin und sein weitreichendes Vermächtnis liegt zu einem grossen Teil in seiner «Doppelrolle» begründet – einerseits war er Naturforscher im Stil des frühen 19. Jahrhunderts, andererseits ein moderner, spezifische Forschungsfragen untersuchender Evolutionsbiologe.

Im ersten einleitenden Satz seines Buches «Die Entstehung der Arten» verweist Charles Darwin auf die Bedeutung seiner naturgeschichtlichen Beobachtungen und Untersuchungen während seiner fünfjährigen Reise um die Erde für die Ausarbeitung seiner Evolutionstheorie. Kurz nach der Rückkehr im Herbst 1836 begann Darwin mit der akribischen Entwicklung seiner Theorien über die «Transmutation» der Arten. Erst die Jahre des Beobachtens und Resümierens seiner breit ausgerichteten naturgeschichtlichen Untersuchungen liessen in ihm die Zweifel am Wirken eines umfassenden Schöpfers aufkommen und ihn nach einem alternativen Erklärungsmodell suchen. Seine Bemühungen sind detailreich durch seinen umfangreichen Nachlass in Form von Notizbüchern und Korrespondenz dokumentiert.

Der Naturforscher Darwin

Als Darwin im Dezember 1831 seine Weltumsegelung auf der *Beagle* antrat, hatte er erst wenige Monate zuvor sein Theologiestudium am Christ's College in Cambridge abgeschlossen. Die meiste Zeit des Studienaufenthalts

von 1828 bis 1830 hatte er allerdings mit dem Sammeln von Käfern, dem Jagen von Füchsen und Vögeln sowie der Beschäftigung mit Botanik und Geologie zugebracht. Vor allem die Untersuchungen seines Botanikprofessors und Mentors John Henslow (1796–1861) haben Darwin stark geprägt.

Henslow befestigte jeweils mehrere Pflanzen von derselben Art – teils von verschiedenen Fundorten – auf ein und demselben Herbarbogen. Jedes einzelne Individuum war nummeriert und enthielt detaillierte Angaben zum Sammler, zum Sammeldatum und zur Lokalität. Dadurch wurde die Variationsbreite der verschiedenen Pflanzenarten «bildlich» dargestellt.

Darwin erkannte damals die Bedeutung einer genauen Dokumentation der Herkunft von Naturobjekten für seine weiteren Untersuchungen. Im Sommer 1831 begleitete er den Geologen Adam Sedgwick (1785–1873) auf einer Forschungsreise nach Nord-Wales, wo er Unterricht im Erstellen von geologischen Profilen erhielt. Von dieser Reise stammt auch der erste von Darwin angefertigte Herbarbeleg.

Durch Vermittlung von Henslow wurde Darwin als naturwissenschaftlich interessierter Gast und Gesellschafter (gentleman companion) des Kapitäns Robert FitzRoy auf die *Beagle* berufen. Offiziell war der Schiffsarzt Robert McCormick mit der naturkundlichen Begleitung der Expedition betraut. Die intensiven Aktivitäten, welche Darwin bereits auf der Schiffsreise über den Atlantik – unter anderem sammelte er Plankton mit Hilfe eines behelfsmässig erstellten Netzes aus Fahmentuch – und während den Landgängen auf den Kapverdischen Inseln entwickelte, schürten den Neid von McCormick. Nach einem Streit mit FitzRoy in Rio de Janeiro verliess der Schiffsarzt das Schiff. Charles Darwin füllte die Lücke mit grossem Eifer und finanziellem Einsatz.

Über zwei Drittel der fast 58 Monate dauernden Reise verbrachte Darwin auf Expedi-

tionen im Landesinneren des südamerikanischen Kontinents. Er besammelte das breite Spektrum der Vielfalt von Pflanzen und Tieren und stellte geologische Beobachtungen an. Dieses naturkundliche Interesse auf der Reise rund um die Erde unterschied Darwin in keiner Weise von den vielen anderen Forschungspersönlichkeiten jener Zeit. Das primäre Interesse lag im Zusammentragen einer möglichst grossen und breit ausgelegten Sammlung von Naturobjekten und dem Dokumentieren von Beobachtungen.

Auswertung der Museumsbelege

Nach seiner Rückkehr nach England machte sich Darwin unverzüglich an die Auswertung seiner umfangreichen Sammlung von Tieren, Pflanzen und Fossilien. Er kontaktierte verschiedene Spezialisten in England für die weiteren Untersuchungen seiner gesammelten Objekte. Bis 1841 war er Herausgeber des mehrbändigen Werkes «The Zoology of the Voyage of H.M.S. *Beagle*».

Die von Darwin gesammelten Vögel wurden vom Ornithologen John Gould (1804–1881) analysiert und bestimmt. Von besonderem Interesse waren die Belege von den Galapagosinseln. Gould wies Darwin darauf hin, dass die unterschiedlichen Ammern (*Emberizidae*) dieser Inselgruppe nicht etwa verschiedenen Gattungen zuzurechnen seien, wie dies Darwin angenommen hatte, sondern bisher unbekannte, eng verwandte aber doch unterschiedlich aussehende Arten von Finken darstellten.

Bei den Spottdrosseln (Gattung *Mimus*) erkannte und dokumentierte Darwin bereits auf Galapagos die nur leicht abweichenden, auf bestimmte Inseln beschränkten Formen und ihre Ähnlichkeit mit Sippen vom südamerikanischen Festland. Diese Beobachtungen versetzten Darwin, wie er in seinen Reisenotizen festhielt, in höchstes Erstaunen über den Umfang der «creative force» und lieferten

damit einen wichtigen Beitrag zur weiteren kritischen Auseinandersetzung über dieses Phänomen, das auch bei Galapagos-Riesenschildkröten und anderen Taxa ersichtlich war.

Auch die Suche von Darwin nach dem Kleinen Nandu (*Darwin-Nandu*; *Pterocnemia pennata*) im südlichen Argentinien gilt als wichtige Episode, die ihm Indizien für die Veränderlichkeit der Arten lieferten. Darwin hatte von der Existenz einer kleinen Form des Grossen Nandu (*Rhea americana*) gehört und wollte ihn auf seiner Expedition durch Patagonien aufstöbern. Das erste Exemplar holte er buchstäblich von den Tellern seines Expeditionstrupps, der gerade dabei war, ein gegagtes Exemplar des Laufvogels zu verzehren. Darwin sicherte die Knochen und rekonstruierte das Skelett.

Die Untersuchungen des britischen Naturforschers Richard Owen (1804–1892) an den von Darwin gesammelten Fossilien aus Südamerika ergaben, dass ausgestorbene Arten im Körperbau den heute vorkommenden Taxa recht ähnlich sehen. Zu den von Darwin gesammelten Fossilien gehört auch eines der am besten erhaltenen Skelette eines Riesenfauktiers (*Megatherium americanum*). Dies wurde von Darwin als spektakuläres Beispiel dafür erkannt, wie Arten von gleichem Körperbau einander in der Erdgeschichte ablösen können.

Die von Darwin gesammelten Pflanzenbelege von den Galapagosinseln veranlassten Joseph Dalton Hooker (1817–1911) zu einer Serie von Publikationen zum grossen Anteil von Endemiten auf ozeanischen Inseln. Diese Sammlungen waren – im Gegensatz zu denjenigen der Darwinfinken – fein säuberlich mit Sammeldaten versehen und konnten deshalb im Hinblick auf biogeographische Fragestellungen ausgewertet werden.

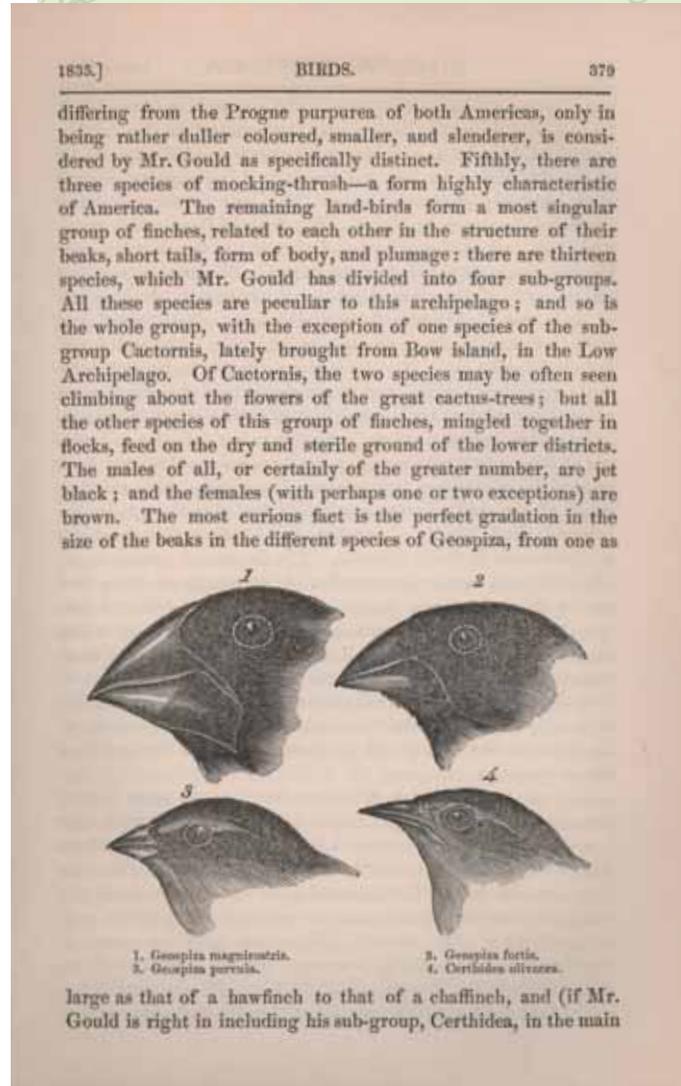
Belegbasierte Naturforschung

Zu den weniger bekannten Lebensabschnitten Darwins gehören die acht Jahre zwischen 1846 und 1854, die der Evolutionsbiologe mit der Systematik der stark spezialisierten Gruppe der Rankenfusskrebse (*Cirripedia*) verbrachte. Auf den ersten Blick ist es verwirrend, dass sich Darwin zu einer Zeit, in der er intensiv mit der Ausarbeitung der Evolutionstheorie beschäftigt war, auf vergleichende anatomische und taxonomische Untersuchungen an heute lebenden und fossilen Vertretern einer weitgehend unbekannt, aber äusserst vielgestaltigen Organismengruppe einlassen konnte. Die Bedeutung dieser Arbeiten bestand für Darwin aber in der intensiven Beschäftigung mit dem Phänomen der natürlichen Variation in Populationen unter grossem Existenzkampf. Aus Notizen von Darwin wird ersichtlich, dass er damit dem Aspekt der Selektion und des Konkurrenzdrucks in seiner weiteren Ausarbeitung der Evolutionstheorie eine grössere Bedeutung zukommen liess.

Der Evolutionsbiologe Ernst Mayr bezeichnete das Werk von Darwin als «one long argument». Diese prägnante Zusammenfassung nimmt Bezug auf den riesigen Fundus an Beobachtungen und Schlussfolgerungen aus der belegbasierten Naturforschung, die Darwin für die Klärung des «mystery of mysteries» – die Evolution der Organismen – verarbeitet und integriert hat. In allen seinen weiteren Forschungsarbeiten hat er sich spezifischen evolutionsbiologischen und schliesslich auch ökologischen Fragestellungen zugewendet. Damit markiert er den Wandel von der umfassenden Naturkunde zur Spezialisierung im breiten Spektrum der biologischen Forschung. ■

Darwins Kronzeugen auf Galapagos

(gk) Kein anderer Ort der Welt ist so stark mit dem Namen Darwin verbunden wie die Galapagos-Inseln. Es war nicht zuletzt dieses Freilandlabor der Evolution, das den Naturforscher zu seiner Evolutionstheorie inspiriert hat. Die berühmtesten



Bewohner der Inselgruppe sind die 13 Arten von Darwin-Finken, die in jedem Lehrbuch zur Evolution und in jedem Biologie-Schulbuch abgebildet sind. Während seines fünfwöchigen Aufenthalts erforschte Darwin die Finken allerdings nicht direkt, sondern sammelte lediglich ein paar Exemplare, die in England vom Kurator der Zoologischen Gesellschaft London, John Gould, untersucht wurden. Dieser machte Darwin auf die Besonderheit des Fundes aufmerksam: Alle Vögel gehörten zur gleichen Gattung. Die hier abgebildete Lithographie auf der Seite 379 der zweiten Auflage von Darwins 1845 erschienenem Buch «Reise eines Naturforschers um die Welt» offenbarte ihm die morphologische Vielfalt einer Gattung, deren Arten sich vor allem durch die Form und Grösse ihres Schnabels unterscheiden. Darwin schrieb dazu: «Wenn man diese Abstufung und Verschiedenartigkeit der *Structur* in einer kleinen, nahe unter einander verwandten Gruppe von Vögeln sieht, so kann man sich wirklich vorstellen, dass in Folge einer ursprünglichen Armuth an Vögeln auf diesem Archipel die eine Specie hergenommen und zu verschiedenen Zwecken modificiert worden sei.»

«Die Evolutionstheorie ist kein fiktives Gebäude, sondern eine Tatsache»

Ein Gespräch mit Prof. Dr. Heinz Richner, Institut für Ökologie und Evolution der Universität Bern, über moderne Forschungsfragen in der Evolutionsbiologie, die Arbeitsweise der Wissenschaft, das Weltbild der Kreationisten und den ersten Lebensfunken.

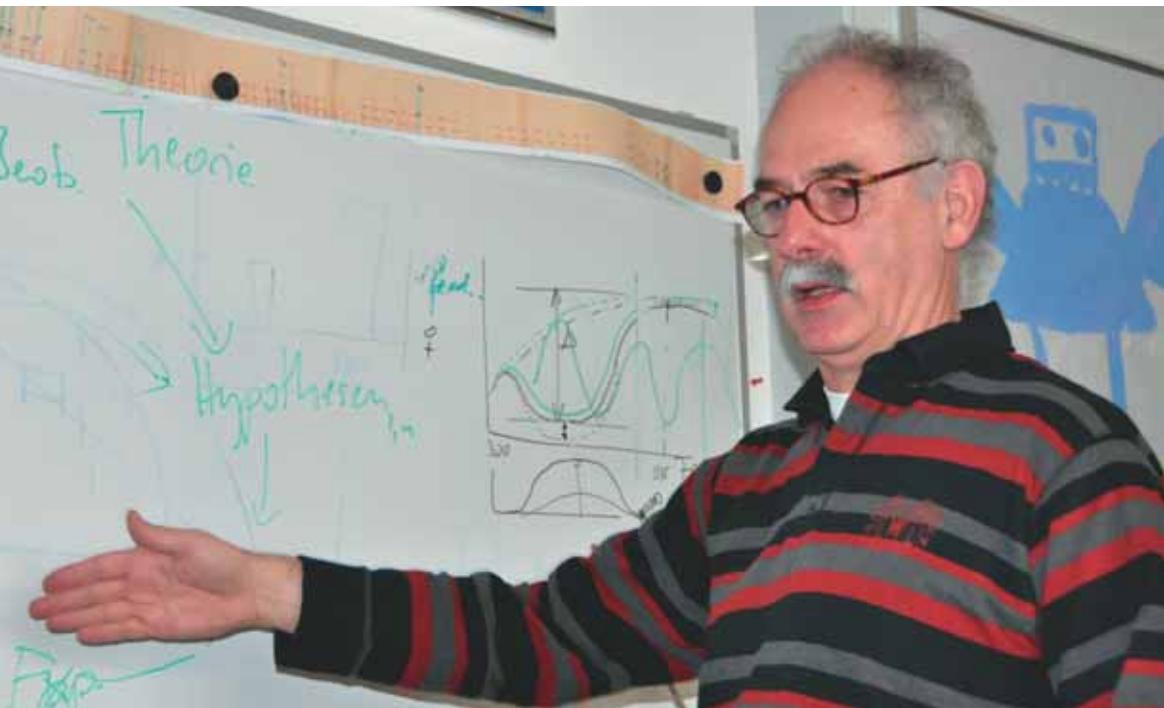
HOTSPOT: Wie feiern eigentlich Evolutionsbiologen in der Schweiz den 200. Geburtstag Darwins und den 150. Jahrestag der Veröffentlichung seines bahnbrechenden Buches «Die Entstehung der Arten»?

Richner: Wir feiern schon seit Jahren jeden Geburtstag von Darwin im Rahmen eines zweitägigen Symposiums. Bei diesem Anlass stellen unter anderem Doktoranden und Post-Doktoranden aus der organismischen

Welches sind die aktuellen Forschungsfragen innerhalb der Evolutionsbiologie?

Das ist wie in jeder Wissenschaft: Am Anfang gibt es ein paar Forschungsfragen. Und während Wissen angehäuft wird, gibt es immer mehr Fragen in immer mehr Richtungen. Im Zentrum der Biologie steht Darwins Evolutionstheorie als verbindendes Element. Auf genetischer Ebene interessiert uns beispielsweise, wie die Variation zustande kommt, vor

eine ganze Reihe von Forschungsfragen ein: Wie beeinflusst die Veränderung der Übertragungswahrscheinlichkeit von Wirt zu Wirt, beispielsweise in Spitälern, die Virulenz eines Pathogens? Welche Symptome einer Krankheit haben ihre Ursache in der Krankheit selbst und welche sind adaptive Reaktionen des Wirtes? Wie entstehen und verschwinden Arten? Nach welchen evolutionsbiologischen Regeln funktioniert Kooperation in grossen Gemeinschaften?



Biologie ihre Arbeiten vor. Dabei findet ein intensiver Austausch zwischen den einzelnen Forschungsgruppen statt. Das verbindende Element ist letztendlich Darwins Evolutionstheorie. Das Symposium ist nicht nur ein wissenschaftlicher Anlass, sondern auch ein soziales Ereignis. Es entsteht ein Gefühl von Gemeinschaft. Ich bin sicher, dass sich das auch auf das Niveau der entsprechenden Forschung in der Schweiz auswirkt: In der organismischen Biologie hat es hierzulande viele sehr gute Forscherinnen und Forscher.

allein auch hinsichtlich der neuen Erkenntnisse in der Molekularbiologie, die weit über einfache Mutationen hinausgehen. Spannende Forschungsfelder sind die Entstehung von Kooperation, die Mechanismen der Selektion und die Evolution der Geschlechter. Koevolution, beispielsweise zwischen Wirt und Parasit, ist ein weiteres grosses Forschungsfeld innerhalb der Evolutionsbiologie. Viele Krankheiten kann man nur richtig behandeln, wenn man den evolutionsbiologischen Hintergrund versteht. Spontan fallen mir

Gibt es Thesen in Darwins Buch «Die Entstehung der Arten», die sich als falsch herausgestellt haben?

Im Kern ist seine Theorie immer noch korrekt. Darwin wusste leider nichts über die genialen Erbsenexperimente von Mendel und konnte so auch keine Vorstellung haben über die Träger der Erbinformation, die Gene, wie wir sie heute nennen. Diese Unkenntnis führte zu einigen Problemen, die allerdings auch schon Darwin bewusst waren. Aus heutiger Sicht scheint Darwins Evolutionstheorie ein-

fach, im damaligen Umfeld war sie aber revolutionär. Darwin hat beobachtet, dass innerhalb einer Art nicht alle Individuen gleich sind und die einzelnen Merkmale von einer Generation zur nächsten weitergegeben werden. Inspiriert von den Beobachtungen des Ökonomen Thomas Malthus, dass mehr Nachkommen produziert werden, als zum Erhalt einer Population notwendig sind, brachte Darwin seine Beobachtungen in einen grösseren Zusammenhang: Die erbliche Variation innerhalb einer Art führt über Selektion zur Anpassung. Das ist die Kurzformel der Evolutionstheorie. Es gab zwar durchaus Wissenschaftler vor Charles Darwin, die ebenfalls Theorien zur Veränderlichkeit der Arten entwickelt haben. Die meisten konnten sich aber nicht vollständig vom Schöpfungsgedanken lösen und blieben deshalb immer irgendwie stecken.

Biologie und auch der Medizin von grosser Bedeutung sein. Das evolutionsbiologische Konzept ist eigentlich einfach, und trotzdem haben viele Leute damit Mühe. Offenbar werden die Mechanismen der Evolution – die Variation, Selektion und Anpassung – in der Schule kaum vermittelt. Behandelt werden einzig die Stammbäume. Und natürlich dass Menschen und Schimpansen gemeinsame Vorfahren hatten.

Im Kanton Zürich haben drei Kantonsräte der christlich-fundamentalen Eidgenössischen Demokratischen Union EDU in diesem Jahr den Versuch gestartet, die Schulen zu einer gleichwertigen Behandlung der Schöpfungslehre neben der Evolutionstheorie zu verpflichten. Und in einer ersten Fassung des Lehrmittels «NaturWert» wurden Schöpfungsmythos und

bei dem allerdings kein Evolutionsbiologe eingeladen wurde. Markus Wilhelm von der Pädagogischen Hochschule Zentralschweiz hat dann aber in seinem Vortrag gezeigt, dass grosse Teile des Lehrmittels aus einem Buch des deutschen Kreationisten Reinhard Junker übernommen worden waren. Junker gibt sich als Biologe aus, ist gleichzeitig aber Geschäftsführer der evangelikalen Studiengemeinschaft «Wort und Wissen». Damit waren Teile des Lehrmittels nicht mehr haltbar. Zurzeit erarbeitet Markus Wilhelm ein Lehrmittel «Evolution». Man darf sich deshalb im Frühjahr 2009 auf ein gutes, wissenschaftlich fundiertes Lehrmittel freuen.

Wer hat denn die erste Fassung des Lehrmittels geschrieben?

Die Autorin arbeitet bei der Evangelischen Volkspartei, die unter anderem kreationisti-



Fotos Gregor Klaus

Welchen Stellenwert hat die Evolutionsbiologie innerhalb der Biowissenschaften?

Sie hat in den letzten Jahrzehnten eindeutig an Bedeutung gewonnen. Letztendlich ist ja alles Lebende ein Produkt der Evolution. Der Einbezug molekularbiologischer Erkenntnisse über die letzten Jahrzehnte hat viel zum Verständnis der evolutiven Mechanismen und Prozesse beigetragen. Das Wissen um die Evolution kann für die Interpretation von Forschungsergebnissen aus vielen Bereichen der

Evolutionstheorie praktisch als gleichberechtigte Alternativen zur Erklärung der Artenvielfalt und ihrer Anpassung an die Umwelt nebeneinander gestellt. Was war ihre Reaktion?

Nachdem ich das enttäuschende Lehrmittel gesehen habe, habe ich ein Treffen mit Evolutionsbiologen organisiert und einen Brief an den Lehrmittelverlag geschrieben, in welchem ich meinen Unmut zum Ausdruck brachte und eine inhaltliche Neubearbeitung forderte. Es kam daraufhin zu einem Podiumsgespräch,

sches Gedankengut verbreitet. Die Frage, wie sie zu dem Auftrag des Lehrmittelverlags gekommen ist, ob es Zufall oder Absicht war, wird wohl im Dunkeln bleiben. Mir ist jedenfalls schleierhaft, wie es möglich war, ein Lehrmittel über Evolutionsbiologie zu verfassen, ohne jemals einen einzigen Evolutionsbiologen hinzuzuziehen.

Was glauben denn die Kreationisten?

Innerhalb der Kreationisten gibt es ganz unterschiedliche Strömungen. Das Spektrum

■ **Prof. Dr. Jürg Stöcklin** ist Dozent und Forschungsgruppenleiter am Botanischen Institut der Universität Basel. Seine Arbeitsgebiete sind die Populations- und Evolutionsbiologie von Pflanzen. Jürg Stöcklin ist Präsidiumsmitglied der Plattform Biologie der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz. In seiner aktuellen Forschung beschäftigt er sich mit der Biodiversität von Alpenpflanzen, ihrer Reproduktionsbiologie und den vielfältigen Anpassungen an die besonderen Verhältnisse kalter Lebensräume. Ausserdem interessiert er sich für wissenschaftshistorische und ethische Fragen in der Biologie.



■ **PD Dr. Reto Nyffeler** ist Kurator des Herbariums der Universität Zürich und Privatdozent am Institut für Systematische Botanik. Die zentralen Fragen seiner Forschungstätigkeit drehen sich um die Entstehung und Differenzierung der Vielfalt an sukku- lenten Pflanzen. Vergleichende, belegs- basierte Untersuchungen stehen im Zentrum dieser Forschungsarbeiten. Er hat für seine taxo- nomischen und phylogenetischen Untersuchen- gen zu den südamerikanischen Kakteen ver- schiedene, bereits von Darwin bereiste Gebiete aufgesucht und dokumentiert.



■ **Prof. Dr. Dieter Ebert** studierte in Mün- chen und Alabama und promovierte 1991 in Po- pulationsbiologie an der Universität Basel. Nach Studienaufenthalten in Panama, Russland und England wurde er 1995 Assistenzprofessor in Basel, später Professor für Ökologie und Evolution an der Universität Freiburg. Seit 2004 ist er Professor für Zoolo- gie an der Universität Basel. Dieter Ebert hat sich seit seinem Studium mit Evolutionsbiolo- gie beschäftigt. Sein besonderes Interesse gilt schnellen evolutiven Prozessen, insbesondere der Koevolution von Wirten und ihren Para- siten, sowie in neuerer Zeit der evolutiven Ge- nomic. Er ist Sekretär der «European Society for Evolutionary Biology».



■ **Ass. Prof. Dr. Walter Salzburger** studierte in Innsbruck Zoologie, wo er 2001 auch promo- vierte. Nach seiner post- doc-Zeit in Konstanz und einem Forschungsauf- enthalt an der Harvard Universität wechselte er 2006 als Gruppenleiter an die Universität von Lausanne. Seit 2007 ist er Assistenzprofessor für Zoologie an der Universität Basel. Walter Salzburger beschäftigt sich mit der Entstehung von neuen Arten und somit von Biodiversität. Ganz besonders interessiert ihn die moleku- lare Basis der Evolution, das heisst wie Verän- derungen in der DNA zu biologischer Vielfalt führen. Zentrale Forschungsobjekte sind die Hunderte von Buntbarscharten in den Seen Ostafrikas.



■ **Prof. Dr. Claus Wedekind** doktorierte 1994 und habilitierte 1999 in Evolutionsbiologie an der Universität Bern. Nach anschliessenden Forschungs- jahren an der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (Ea- wag) der ETH, der Universität von Utah (USA) und der Universität von Edinburgh (GB) wurde er 2004 auf eine SNF-Förderungsprofessur in Bern und 2005 auf die «Hr- dy Visiting Professorship for Conservation Biology» an der Universität Harvard (USA) berufen. Seit 2006 lehrt er Naturschutzbiologie an der Universität Lausanne. Seine Forschung konzentriert sich auf evolutionäre Aspekte der Naturschutzbiolo- gie (am Beispiel von Fischen in der Schweiz) und auf die experimentelle Spieltheorie, vor allem auf evolutionäre Lösungen von Koope- rationsproblemen.



■ **Dr. Daniel Prati** studierte Biologie an der Universität Basel und promovierte 1998 in Umweltwissenschaften an der Universität Zürich. Danach arbeitete er am Umweltforschungszentrum UFZ in Halle-Leip- zig und an der Universität Potsdam, bevor er vor einem Jahr als Assistent an die Universität Bern kam. Er beschäftigt sich mit evolutio-



nären Prozessen bei biologischen Invasionen und mit ökologischen Prozessen, die biologi- sche Vielfalt erzeugen und erhalten.

■ **Prof. Dr. Markus Fischer** wurde 1996 an der Universität Basel promoviert, habilitierte sich 2001 in Umweltwis- senschaften an der Uni- versität Zürich, war von 2003 bis 2007 Professor für Spezielle Botanik und Biozönoseforschung an der Universität Potsdam und Direktor des dortigen Botani- schen Gartens, und ist seit 2007 Professor für Pflanzenökologie am Institut für Pflanzen- wissenschaften der Universität Bern. Im Rah- men seiner Forschungstätigkeit beschäftigt er sich mit den Gründen und den funktionellen Konsequenzen von populationsgenetischen, populationsbiologischen und gemeinschafts- ökologischen Biodiversitätsveränderungen.



■ **Dr. Eva Inderwildi** studierte in Neuenburg Biologie und schloss 2005 ihre Doktorarbeit in Zoologie an der Uni- versität Basel ab. In ihrer Dissertation befasste sie sich mit der räumlichen und zeitlichen Nutzung der Stadt Basel durch die Strassentauben. Seit 2006 arbeitet sie beim Schweizer Vogelschutz SVS/BirdLife Schweiz. Sie leitet diverse Pro- jekte im Bereich Vogel- und Naturschutz und ist Ansprechperson für Evolution MegaLab, die europaweite Schneckenerfassung zum Darwin-Jahr 2009.



■ **Prof. Dr. Bruno Baur** studierte Biologie und promovierte 1984 in Ökologie an der Uni- versität Zürich. Nach seiner post-doc-Zeit an der Universität in Upp- sala (Schweden) arbei- tete er als Oberassistent und Gruppenleiter am Zoologischen Institut der Universität Basel. 1995 wurde er auf die Professur für Naturschutzbiologie (www.con- servation.unibas.ch) an der Universität Basel berufen. Er ist wissenschaftlicher Leiter der Aktion Evolution MegaLab in der Schweiz.



reicht von Kreationisten, die die Schöpfungsgeschichte bildlich nehmen, bis hin zu den Anhängern eines «Intelligent Designer», der für die Vielfalt verantwortlich sein soll. Ernsthaftige Diskussionen mit Kreationisten sind praktisch nicht möglich, weil sie wissenschaftlichen Argumenten nicht zugänglich sind. Man kann sie aufs Glatteis führen – am Ende argumentieren sie mit den abenteuerlichsten Vorstellungen. Dabei verstricken sie sich dermassen, dass die Diskussion ad absurdum geführt wird. Ich habe mich kürzlich auf ein Gespräch mit zwei 19-jährigen Kreationistinnen eingelassen, die auf das Gymnasium gehen und mir nach einer dreistündigen Diskussion fast das Büro zertrümmert haben. Sie glaubten bis zum Schluss an das, was sie glauben wollten. Der Mangel an biologischem Wissen bei diesen Schülerinnen hat mich entsetzt.

Was läuft heute falsch im Unterricht zur Evolution?

Der Unterricht ist stark vom Stammbaum des Lebens geprägt. Der Weg vom Quastenflosser über die Amphibien, Reptilien und Säugetiere bis hin zum Menschen wird als Evolutionstheorie dargestellt. Das ist aber nur die Konsequenz der Evolution. Was die Schülerinnen und Schüler jedoch verstehen müssen, ist die Theorie selbst, den Mechanismus der Evolution, und was Wissenschaft und Glauben in ihrem Ansatz unterscheidet. Fehlt dieses Wissen, haben Fanatiker und Demagogen freie Hand.

Was genau muss in der Schule vermittelt werden?

Man muss zeigen, wie Wissenschaft funktioniert. Wissenschaft beginnt mit einer Beobachtung oder einer Theorie. Danach formuliert man eine Hypothese, also eine zunächst unbewiesene Annahme von Gesetzmässigkeiten oder Zusammenhängen. Aus der Hypothese leitet man Voraussagen ab. Wenn die Hypothese richtig ist, müssten Experimente oder weitere Beobachtungen mit der Voraussage übereinstimmen. Ist das der Fall, wird die Hypothese angenommen. Tun sie das nicht, verwirft die Wissenschaft die Hypothese, die dann durch eine Neue ersetzt wird. Wie schon der Philosoph Karl Popper erkannt hat, kann man die Richtigkeit einer Hypothese nicht «beweisen», man kann einzig zeigen, dass die

Hypothese durch die Beobachtungen gestützt wird. Oder im gegenteiligen Fall als falsifiziert angesehen werden kann.

Klingt logisch.

Ja, nur nehmen Menschen, die nicht wissen, wie Wissenschaft funktioniert, das Ganze als verwirrenden Prozess wahr. Sie denken, dass man der Wissenschaft nicht vertrauen könne, weil sie «einmal dies und einmal das» behauptet. Sie verstehen nicht, dass in der Wissenschaft eine Hypothese so lange Gültigkeit hat, bis eine andere Hypothese wahrscheinlicher ist. Und wird eine Theorie ständig bestätigt, wie das bei der Evolutionstheorie der Fall ist, ist sie kein fiktives Gebäude mehr, sondern wird zu einer Tatsache.

Die Kreationisten versuchen mit derselben Methode ihr Weltbild zu beweisen.

Das funktioniert aber nicht. Man kann den Glauben nicht mit wissenschaftlichen Methoden prüfen und testen. Beim Glauben handelt es sich um einen emotionalen Bereich, den man entweder braucht oder nicht. Es ist Aufgabe der Schulen, den Unterschied zwischen Wissenschaft und Glauben deutlich hervorzuheben. Die Schülerinnen und Schüler müssen in der Lage sein, die beiden Bereiche klar zu trennen. Der Glaube gehört in den Religionsunterricht und hat in der Biologie nichts zu suchen. Religion ist ein wichtiges Fach, allein schon weil es ein bedeutendes Element unserer Kultur ist. Die klare Unterscheidung zwischen Wissenschaft und Religion kann man meiner Meinung nach schon im Kindergarten vermitteln. Völlig falsch war die Einstellung des Lehrmittelverlags, der versucht hat, die Kinder zwischen zwei vermeintlichen Alternativen «wählen» zu lassen. Es gibt nichts zu wählen, weil es sich um völlig verschiedene Ansätze handelt.

Die Wissenschaft hat zeigen können, wie die biologische Vielfalt entstanden ist. Kann sie auch den ersten Lebensfunken erklären?

Bereits 1953 hat der Chemiker Stanley L. Miller in einer modellhaften Ursuppe Aminosäuren synthetisiert. Aminosäuren sind unter anderem die Grundbausteine der Proteine von Lebewesen. In einem Glaskolben erhitzte er Wasser, Wasserstoff, Ammoniak und Methan

und liess kleine Blitze durch das Gasgemisch schlagen. Miller lieferte den Beweis dafür, dass für das Leben wichtige organische Moleküle unter natürlichen Verhältnissen, wie sie in der Frühzeit der Erde vorgelegen haben, entstehen können. Das Experiment hat grosses Aufsehen erregt und konnte in der Zwischenzeit mehrfach wiederholt werden.

Es braucht keinen Gott?

Ich will damit sagen, dass wir für die Erklärung des Lebens und der Vielfalt keinen Schöpfer benötigen. Sehr viele Leute haben ein Problem damit, dass sie sterben müssen, ohne dass eine höhere Macht dahinter steht. Im Glauben suchen sie Zuflucht. Das ist nichts Schlechtes, und die Wissenschaft sollte den Glauben nicht lächerlich machen. Wenn aber Kreationisten ihren Glauben dazu missbrauchen, wissenschaftliche Erkenntnisse abzulehnen und auch ihren Kindern den Zugang zu diesen Erkenntnissen erschweren, dann stört mich das.

Stört der Mensch mit all seinen Aktivitäten auf der Erde den Gang der Evolution?

Sehr sogar. Der Mensch bedroht die Vielfalt und damit das Ausgangsmaterial für die weitere Evolution. Wir zerstören Lebensräume und verbrennen innerhalb weniger Jahrzehnte fossile Brennstoffe, die über Jahrmillionen entstanden sind. Wenn ein Meteorit einschlägt, ist das nicht vermeidbar. Das menschliche Verhalten ist dagegen wandelbar. Der Mensch ist nicht gezwungen, alle wichtigen Lebensräume der Erde derart rücksichtslos zu beeinträchtigen, wie das heute der Fall ist.

Das Interview führten Gregor Klaus und Daniela Pauli

Darwins Idee der Artentstehung

Evolution schafft Biodiversität, Biodiversität schafft Evolution

Von Walter Salzburger und Dieter Ebert, Zoologisches Institut der Universität Basel, CH-4051 Basel
 walter.salzburger@unibas.ch, dieter.ebert@unibas.ch

Darwins Idee der Evolution ist für den Biodiversitätsgedanken von grosser Bedeutung, denn sie erklärt die Entstehung der biologischen Vielfalt auf der Erde. Der brillante Naturforscher zeichnete das Bild einer auf das engste verflochtenen Artengemeinschaft.

Als Charles Darwin im Jahr 1832 zum ersten Mal einen tropischen Regenwald betrat, war er schier überwältigt von der Artenvielfalt, die ihn umgab. Er verbrachte Stunden im Dschungel, berauscht von der Vielfalt der Vegetation und vor allem der Schmarotzerpflanzen. Seinem Vater schrieb er von «Wogen der Lust», die ihn beim Sammeln von Pflanzen und Tieren überkamen. Noch betrachtete er Arten als statische Gebilde. Erst Jahre später erkannte er die grösseren Zusammenhänge. Seine geniale Theorie der Evolution erlaubte es, die biologische Vielfalt als das Ergebnis eines lange andauernden Prozesses zu verstehen.

Darwins Buch «Die Entstehung der Arten» erklärt im Detail, wie durch mikroevolutive Prozesse – das heisst kleinste Schritte in der Veränderung der Arten – neue Tier- und Pflanzenarten entstehen. Bedingt durch eine räumliche und ökologische Variation können so neue Arten an verschiedenen Orten entstehen. Darwins Idee der Artentstehung ist damit im Wesentlichen durch einen Prozess charakterisiert, den wir heute als allopatrische Artbildung bezeichnen und der geographische Isolation voraussetzt (Box 1). Auf fast allen Inseln, die Darwin während seiner fünfjährigen Weltumsegelung besuchte, fand er Arten, die es nur dort gab. Zum Paradebeispiel für die Evolution auf entlegenen Inseln wurden die Galapagos Inseln. Darwin vermutete aber auch, dass Arten ohne geographische Isolation, also sympatrisch, entstehen können (Box 1).

Die Erkenntnis, dass Arten aus der Aufspaltung anderer Arten entstehen, führt fast

zwangsweise zum Schluss, dass die Anzahl Arten auf der Erde ständig steigt (Box 2). Darwins Funde deuteten allerdings auch darauf hin, dass Arten zu allen Zeiten aussterben können. Daraus entwickelte sich ein wichtiges Argument für Darwin in seinen Betrachtungen der verschiedenen Formen. Er postulierte, dass die Lücken, die man sieht, wenn man Arten vergleicht, durch Aussterben der vorhergegangenen Formen entstanden seien. Nicht alle Formen blieben in der Erdgeschichte erhalten, sondern sie lösten einander ab. Fortschritt ist möglich, wenn das Alte dem Neuen Platz macht. Die Lücken erklären, warum es meistens einfach ist, die bestehenden Lebewesen in leicht unterscheidbare Arten einzuteilen, aber viel schwieriger, bestehende Arten miteinander in einen phylogenetischen Zusammenhang zu bringen.

Es stellt sich die Frage, wie sich die verschiedenen Argumente in Darwins Gedankengebäude zu einem grösseren Ganzen vereinen. Obwohl das Wort Ökologie zu Darwins Zeiten noch nicht erfunden war, lassen sich viele seiner Argumente zum ersten Mal zu einem ökologischen Gesamtbild zusammenfügen. Darwins «economy of nature» ist ein Bild für die Zusammenhänge zwischen Arten in einer Gemeinschaft. Anstelle der göttlichen Balance der Natur stellte Darwin ein Bild einer evolvierten und aufs engste verflochtenen Gemeinschaft vor. Diese ist dominiert von biologischen Prozessen wie Wettkampf und Räuberdruck, die das Überleben bestimmen.

Nur kurz nach der Veröffentlichung seines Buches «Die Entstehung der Arten» erweiterte er dieses Bild durch die Einführung von Koevolution als einen Motor für zwischenartliche Beziehungen. Arten von sehr

unterschiedlicher Abstammung evolvierten gegenseitige ökologische Abhängigkeiten, die das verflochtene Band der Natur – Darwins «tangled bank» – weiter festigten. Sie schafften immer neue Nischen, in die immer wieder neue Arten hinein evolvierten (Box 3).

Heute sehen wir die Natur als ein Ganzes, in dem Räuber und ihre Beute, Wirte und ihre Parasiten, Pflanzen und ihre Bestäuber



Zur Box 1: Im Kratersee Apoyo in Nicaragua gibt es mehrere Buntbarsch-Arten, von denen einige innerhalb dieses kleinen Sees, also ohne räumliche Isolation (sympatrisch), entstanden sind.

Foto: W. Salzburger

eng vernetzte Gemeinschaften formen. Die Spezifität der Mehrheit dieser zwischenartlichen Verbindungen ist das Resultat einer engen Koevolution, geprägt durch innerartliche Konkurrenz.

In diesem Sinne ist Biodiversität eine Konsequenz der Evolution immer feinerer Verflechtungen zwischen Arten. Konkurrenz fördert Innovationen, die es erlauben, unbesetzte Nischen zu besetzen, wo zumindest für den Moment der Konkurrenzdruck geringer ist. Das wiederum erhöht die Überlebens- und Fortpflanzungschancen. ■

Box 1:

Mechanismen der Artbildung

Seit Darwin steht die Frage, wie es zur Entstehung von neuen Arten und somit von Biodiversität kommt, im Zentrum evolutionsbiologischer Forschung. Vielfach spielt die geographische Isolation eine entscheidende Rolle: Populationen einer Art, die räumlich voneinander getrennt werden, passen sich den jeweiligen lokalen Gegebenheiten an, bis sie schliesslich – nach vielen Generationen – nicht mehr miteinander «kompatibel» sind. Dieser Prozess wird als **allopatrische Artbildung** (griech. *allos* = der andere; lat. *patria* = Vaterland) bezeichnet. Sind die abgetrennten Populationen sehr klein, können auch Zufallsprozesse eine Rolle spielen, beispielsweise wenn die Individuen der abgetrennten Popu-

Die **parapatrische Artbildung** (griech. *para* = neben) ist eine Zwischenform. Wie bei der allopatrischen Artbildung entstehen neue Arten aufgrund von lokalen Anpassungen. Allerdings sind die Populationen nicht komplett voneinander getrennt, es gibt also einen gelegentlichen Austausch von Genen und bisweilen die Bildung von Hybriden.

Box 2:

Adaptive Radiationen und die Entstehung von Diversität

Während sich manche Arten über Jahr-millionen hinweg äusserlich kaum verändern, gibt es Art-Komplexe, die in verhältnismässig kurzen Zeiträumen eine grosse Diversität her-

Box 3:

Artenvielfalt durch ökologische Spezialisierung und Koevolution

Besonders artenreiche Gruppen, wie sie aus adaptiven Radiationen hervorgehen, weisen eine grosse phänotypische Vielfalt in denjenigen Merkmalen auf, die zur Ausbeutung der ökologischen Nischen befähigen (z.B. Apparat zur Nahrungsaufnahme) oder Zugang zur Fortpflanzung verschaffen (z.B. Farbmuster). Eine ökologische Spezialisierung, beispielsweise auf eine bestimmte Nahrung, geht also mit morphologischer Anpassung einher – angetrieben durch natürliche Selektion. Die verschiedenartigen Schnäbel der Galapagos-Finken oder die unzähligen Maul- und Zahnformen bei Buntbarschen sind beste Belege hierfür.



Zur Box 2: Haplochromis aenicolor, ein spezialisierter Buntbarsch aus dem Victoriasee.

Foto: E. Schraml

lationen nur einen Teil der ursprünglichen genetischen Vielfalt mit sich tragen.

Sehr viel schneller können neue Arten durch **sympatrische Artbildung** (griech. *syn* = zusammen) entstehen. In diesem Fall bilden sich neue Arten ohne räumliche Trennung zur Ausgangsart. Dies kann beispielsweise erfolgen, wenn sich Individuen einer Art im gleichen Lebensraum auf unterschiedliche Nahrungsquellen anpassen oder zu unterschiedlichen Tageszeiten aktiv sind. Allerdings scheint die sympatrische Artbildung sehr viel seltener zu sein als die allopatrische, und es sind nur wenige gut dokumentierte Beispiele bekannt.

vorgebracht haben. Dem liegt meist der Prozess der adaptiven Radiation zugrunde, also der schnellen Entstehung von vielen Arten aus einem Vorfahren aufgrund der Anpassung an unterschiedliche ökologische Nischen. Solche Radiationen können ein wesentlicher Motor für die Entstehung von Artenvielfalt sein. Bekannte Beispiele für adaptive Radiationen sind die Darwin-Finken auf den Galapagos Inseln, die Kleidervögel Hawaiis und die Hunderte von Arten umfassenden Artenschwärme von Buntbarschen in den Grossen Seen Ostafrikas. Gerade die Buntbarsche zeigen, dass ein grosses Mass an phänotypischer Diversität in nur einigen Tausend (Viktoriasee) bis wenigen Millionen Jahren (Malawisee, Tanganjikasee) entstehen kann.



Zur Box 3: Die Buntbarsche aus dem Tanganjikasee zeigen eine grosse phänotypische Vielfalt.

Foto: A. Indermaur

Die Nahrungskonkurrenz ist dann am grössten, wenn sich phänotypisch ähnliche Formen um die gleiche Nahrung bemühen. Diese Art von Koevolution führt zu einer immer weitergehenden Spezialisierung. Je grösser allerdings der Spezialisierungsgrad, desto kleinräumiger wird die ökologische Nische, was wiederum die Möglichkeit für neue Anpassungen eröffnet. Unter diesem Gesichtspunkt lässt sich sagen: Bestehende Artenvielfalt schafft neue Artenvielfalt!

Darwin und die Naturschutzbiologie

Eine evolutionäre Sicht auf den Artenschutz

Von Claus Wedekind, Departement für Ökologie und Evolution, Universität Lausanne, CH-1015 Lausanne, Claus.Wedekind@unil.ch

Viele Aktivitäten des Menschen verändern die Richtung und das Tempo der Evolution. Diese Tatsache erfordert ein entsprechendes Artenmanagement. Doch erst in wenigen Fällen stehen dafür wissenschaftliche Grundlagen zur Verfügung.

Veränderungen prägen und charakterisieren die Geschichte des Lebens auf diesem Planeten. Arten sterben aus, neue kommen hinzu. Veränderungen an sich sind etwas Normales. Neu ist, dass diese Veränderungen heute meist direkt oder indirekt vom Menschen verursacht sind und sich deshalb oft radikal von früher unterscheiden. Ausserdem finden Veränderungen derzeit in einem aussergewöhnlich hohen Tempo statt. Der Verlust von Lebensraum, veränderte und intensiverte Landnutzung, der Totalausfall von ökologischen Schlüsselarten, biologische Invasionen und der rasche Klimawandel haben eine Biodiversitätskrise ausgelöst, die als das sechste grosse Artensterben auf diesem Planeten bezeichnet wird. Das letzte grosse Artensterben fand vor rund 65 Millionen Jahren statt.

Ökosysteme sind nicht konstant

Die Antwort der Wissenschaft auf die derzeitige Biodiversitätskrise heisst «Conservation Biology» (Naturschutzbiologie). Der Name dieser Disziplin kann missverstanden werden. Der Begriff «conservation» betont das Bewahren und das Erhalten von Bestehendem. Es kann dabei aber nicht um die Bewahrung eines idealstabilen Zustands gehen, denn biologische Systeme sind normalerweise nicht sehr stabil, und die Evolution steht auch unter den heutigen Bedingungen nicht still.

Spontane Veränderungen im Genom – beispielsweise Mutationen oder Umstrukturierungen – geschehen weiterhin und sind gar nicht zu vermeiden. Sie schaffen neue Phänotypen, die sich unter natürlicher und sexueller

Selektion bewähren müssen oder aussterben. Bewähren sie sich, so verändert sich eine Art – und mit ihr unter Umständen die Artengemeinschaft des Ökosystems, in welchem sie eine Rolle spielt. Veränderungen im Ökosystem wiederum verändern die Selektionskräfte, die auf die Arten wirken. Und so schliesst sich dieser Kreis und es wird klar, dass ökologische Systeme allein schon aus evolutionsbiologischer Sicht nie als konstant angesehen werden können. Die neuen, menschengemachten Bedingungen werden die Richtung und das Tempo der Evolution verändern. Wissenschaftler erwarten eine Beschleunigung. Wir werden aller Voraussicht nach neue Beispiele von rascher Evolution sehen. Wir werden aber auch weitere Verluste an biologischer Vielfalt erleben. Beides geschieht innerhalb weniger Generationen.

Interessanterweise ist die Naturschutzbiologie zwar zielorientiert und deshalb fundamental verschieden von typischen naturwissenschaftlichen Disziplinen; es geht ja nicht nur um das Verstehen von Eigenschaften und Prozessen an sich, sondern ganz konkret um die Erhaltung der Biodiversität. Bei der Frage, wieso wir dieses Ziel erreichen sollen, teilen sich allerdings die Meinungen.

Für die einen steht fest, dass wir grundsätzlich eine moralische Verpflichtung haben, Biodiversität an sich zu schützen. Man muss sich dabei aber bewusst sein, dass es nicht einfach um die Erhaltung der Biodiversität, wie sie sich jetzt präsentiert oder wie sie sich zu irgend einem Referenzzeitpunkt präsentiert hat, gehen kann, denn Arten und Artengemeinschaften verändern sich ja ständig. Andere wiederum schätzen Biodiversität als Ursprung und Garant vieler Eigenschaften und Prozesse, die dem Menschen direkt oder indirekt nützlich sind. Funktionierende Ökosysteme regulieren zum Beispiel das Mikroklima und den lokalen Wasserhaushalt, sie entgiften und rezyklieren, produzieren Güter (z.B. Fisch, Holz), schaffen

Gelegenheit zur Erholung und spielen nicht zuletzt überall dort, wo Menschen leben, eine wichtige kulturelle Rolle.

Evolutionäre Reaktionen

Will man die biologische Vielfalt langfristig schützen, so muss man die Dynamik biologischer Systeme verstehen lernen. Das bedingt ein Verständnis von Evolution unter den heute gegebenen Umständen. Nur so lässt sich die Bedeutung menschlicher Eingriffe richtig abschätzen.

Wir wissen, dass landwirtschaftliche Monokulturen anfällig auf Störungen sind und deshalb aufwändig gepflegt werden müssen. Biologische Vielfalt schafft eine dynamische Stabilität, die an sich schwer zu greifen ist, die aber insgesamt Ökosysteme funktionsfähig hält. Verändert sich ein Ökosystem, beispielsweise durch den Klimawandel oder durch eine lokale Veränderung des Wasserhaushalts, so verändern sich die Lebensbedingungen, unter denen sich Tier- und Pflanzenarten bewähren müssen. Die Schlüsselfrage aus evolutionsbiologischer Sicht lautet dann: Welche Art von evolutionärer Reaktion können wir unter welchen Bedingungen erwarten, und was ist deren Bedeutung für die Erhaltung einer Population oder einer Artengemeinschaft? Folgende evolutionäre Reaktionen sind denkbar:

> **Evolutionary trapping:** Eine Population ist «evolutionär gefangen», das heisst sie kann sich nicht rechtzeitig an die veränderte Umwelt anpassen, entweder weil die Veränderungen zu schnell ablaufen, weil der Population das nötige genetische Ausgangsmaterial fehlt, oder weil andere, artspezifische Eigenschaften oder Prozesse eine solche Anpassung verhindern.

> **Evolutionary suicide:** Anpassungen, die dem Überleben und der Fortpflanzung Einzelner nützlich sind, schaden manchmal dem Überleben einer Population. Tiere und Pflan-

zen sind nicht evolviert, um das Überleben ihrer Art sicherzustellen. Sie sind evolviert, ihre eigenen Gene möglichst erfolgreich in die nächsten Generationen zu retten. Das Verhalten Einzelner kann deshalb zum Aussterben einer Art beitragen. Das ist manchmal der Fall, wenn beispielsweise einzelne Männchen durch ihr Verhalten den Fortpflanzungserfolg anderer Männchen und sogar einzelner Weibchen reduzieren.

> **Evolutionary rescue:** Evolutionäre Anpassungen an veränderte Umweltbedingungen verändern eine Art/Population und «retten» sie vor dem Aussterben.

In den ersten beiden Fällen sind oft dringende Interventionen nötig, um einer Population eine Überlebenschance zu geben. Das Hauptaugenmerk wird dabei wohl meist auf der Vermeidung schädlicher Lebensraumveränderungen liegen. Manchmal muss man aber eine Art vor sich selbst schützen, vor allem, wenn Populationen klein werden und das Verhalten einzelner Individuen zum Nutzen der Art gesteuert werden muss. Im dritten Fall haben die veränderten Umweltbedingungen eine Population nachhaltig und möglicherweise für immer verändert.

Die Praxis will von uns Forschern Antworten, während wir aber noch so viele Fragen haben. Beispielsweise ist es allgemein anerkannt, dass genetische Variation die Basis für Evolution bildet. Also lautet eine naheliegende Empfehlung: Man erhalte so viel genetische Variation wie möglich und bewahre damit das evolutionäre Potenzial einer Population oder einer Art. Aber genetische Variation ist nicht in jeder Situation positiv zu bewerten. Wenn wir zum Beispiel Felchen aus Norddeutschland in einen Schweizer See einsetzen und diese Felchen sich dann mit den lokalen Formen kreuzen, so erhöht das ziemlich sicher die genetische Variation in diesem See, reduziert aber vielleicht die lokale Anpassung und damit die mittlere Lebensfähigkeit innerhalb der Population. Ausserdem beeinflussen wir dann auch die im Moment im Voralpenraum stattfindende Artenbildung innerhalb des Felchen-Komplexes.

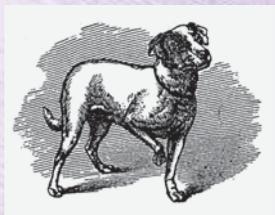
Soll man also einfach nur die lokale genetische Variation erhalten? Das wäre manchmal gerechtfertigt und manchmal zu kurz gegriffen. Wenn wir beispielsweise Dämme errichten und zwei Fischpopulationen voneinander trennen, reduzieren wir den genetischen Aus-

tausch zwischen den Populationen und damit vielleicht die Möglichkeit von lokaler Anpassung an sich verändernde Umweltbedingungen. Aus evolutionsbiologischer Sicht ist also oft noch nicht klar, wie relativ überschaubare Aspekte wie die genetische Variation einer Population richtig «gemanagt» werden sollen. Bei schwierigeren Themen, wie der Bedeutung einer natürlichen Partnerwahl für das Überleben einer Art, kann die Wissenschaft erst recht noch keine verlässlichen quantitativen Empfehlungen abgeben.

Wir müssen uns daran gewöhnen, dass Biodiversität grundsätzlich gemanagt werden muss; der Einfluss des Menschen auf die natürlichen Ökosysteme ist einfach zu gross. Wir müssen uns auch bewusst sein, dass dieses Management noch für lange Zeit nur auf den jeweils besten Schätzungen beruhen kann. Gewisse Management-Grundlagen sind vorhanden, vieles muss aber noch erarbeitet werden, erst recht wenn es um quantitative Aspekte geht und wenn langfristige, das heisst evolutionäre Aspekte mit einbezogen werden. 150 Jahre nach Darwins «Die Entstehung der Arten» ist evolutionsbiologische Forschung vielleicht wichtiger denn je. ■

Evolutionstheorie im Bild

Der lachende Affe

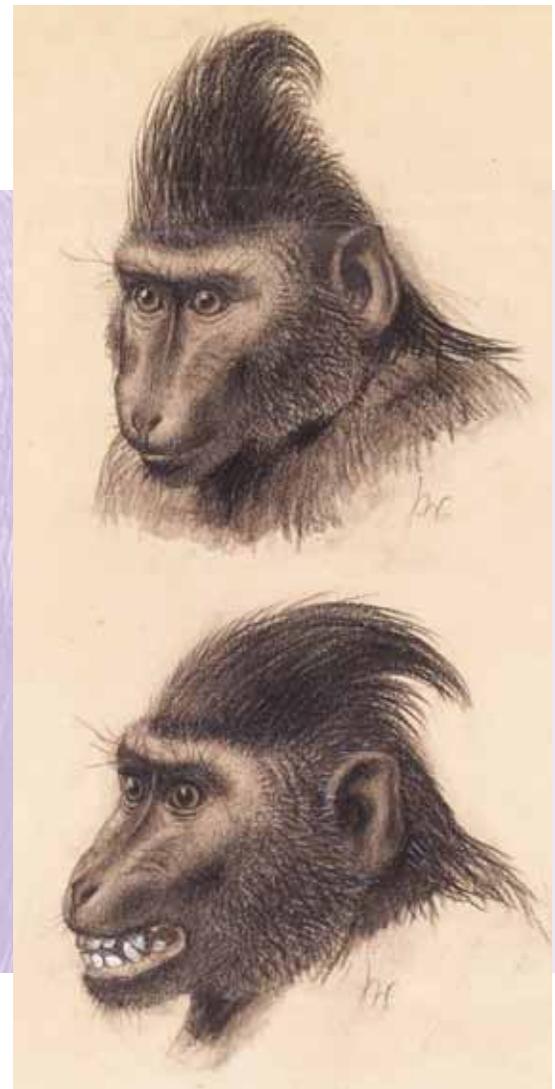


(gk) Im Frühjahr 1871 wurde Charles Darwin vom Direktor des Londoner Zoos kontaktiert. Dieser teilte ihm mit, dass einer der Tierwärter eine interessante tierische Verhaltensweise beobachtet hätte: Ein neu eingetretener Schopfmakake lache, wenn er sich über «Liebkosungen» freue. Darwin war begeistert und beauftragte umgehend einen Tiermaler damit, den lachenden Affen zu zeichnen (siehe Abbildung). In der unteren Zeichnung legt das Tier den Haarschopf zurück,

zieht die Ohren nach hinten, hebt die Augenbrauen leicht an und öffnet mit nach oben gezogenen Lippen den Mund, um einen Laut auszustossen: das Lachen. Darwin publizierte das Bild bereits 1872 in seinem Buch «Ausdruck der Gemütsbewegungen», in dem unter anderem auch drei lachende Mädchen abgebildet sind. Julia Voss schrieb dazu in ihrem faszinierenden Buch «Darwins Bilder» (2007, Fischer Taschenbuch Verlag): «Die Leser (...) hielten eines der fröhlichsten Bücher der Wissenschaftsgeschichte in Händen. (...) Die Bilder strafte Lügen, was seine schärfsten Kritiker immer wieder gegen ihn ins Feld geführt hatten: Die tierische Verwandtschaft degradiere den Menschen. Bei Darwin adelte er das Tier. Die Verbindung zwischen Mensch und Tier schuf nicht animalische Menschen, sondern das menschliche Tier.» Das kleine Bild oben links zeigt die Terrierhündin Polly, die Darwins Tochter Henriette gehörte. Der Hund ist das erste Tier auf den Seiten von Darwins Buch über die Gemütsbewegungen. Polly teilte mit Darwin das Studierzimmer und wurde vom Biologen und Schriftsteller Thomas Henry Huxley in einem Brief scherzhaft als «The Ur-Hund» bezeichnet.

Bild recht aus Darwin Archiv (C136 DAR 53.1) mit Erlaubnis des Syndikats der Cambridge University Library;

Kleines Bild und Hintergrundbild: <http://darwin-online.org.uk/>



Darwins Erbe

Die Evolution der Evolutionstheorie

Von Daniel Prati und Markus Fischer, Institut für Pflanzenwissenschaften, Universität Bern
 daniel.prati@ips.unibe.ch, markus.fischer@ips.unibe.ch

In unserer Betrachtung zu Charles Darwins Erbe spannen wir den Bogen von der Entwicklung der Evolutionstheorie seit Darwin über ihre Synthesekraft und ihre wissenschaftliche Ausstrahlung über die Biologie hinaus bis hin zu ihrer heutigen Bedeutung in der praktischen Anwendung.

Evolution bedeutet Wandel. Auch die Evolutionsbiologie hat sich seit Charles Darwins Zeiten stark verändert. Neue Erkenntnisse wie die Mechanismen der Genetik sind eingeflossen, neue Methoden wie die molekularen Techniken werden angewendet und neue Fragen in den Mittelpunkt gerückt, beispielsweise die nach der Entstehung der Biodiversität in ihrer Gesamtheit. Trotzdem blieb die von Darwin aufgestellte Theorie der Abstammung durch Weitergabe mit Modifikation (descent with modification) im Wesentlichen erhalten.

Die Kraft der Synthese

Die Entwicklung einer Wissenschaft wird von vielen Philosophen und Wissenschaftlern als Prozess betrachtet, der so manches mit Evolution gemein hat. Der österreichisch-britische Philosoph Karl Popper (1902–1994) sah beispielsweise verschiedene Hypothesen gegeneinander konkurrieren, wobei diejenige Hypothese sich als die «Fitteste» herausstellen würde, die am Besten den Beobachtungen der Natur entspricht. Nach den Vorstellungen des Wissenschaftstheoretikers Thomas Kuhn (1922–1996) besteht die Wissenschaft aus einem Wechsel von kurzen, revolutionären Phasen, gefolgt von langen Zeiträumen der sogenannten normalen Wissenschaft, die – gefangen in Paradigmen – wenig grundsätzlich Neues hervorbringt.

Die Ähnlichkeit zu Stephen J. Goulds (1941–2002) evolutionsbiologischer Theorie des Punktualismus (punctuated equilibrium) ist offensichtlich. Beide Vorstellungen der wis-

senschaftlichen Entwicklung sind im Grunde antithetisch, das heisst getrieben von der Gegensätzlichkeit von Erklärungsansätzen. Was diesen erkenntnistheoretischen Modellen fehlt – aber notwendig ist, um die Entwicklung der Evolutionsbiologie zu verstehen – ist die schöpferische Kraft der Synthese verschiedener Ströme.

Darwin selbst war der erste grosse Synthetiker, der in seiner Abstammungslehre unter anderem neue geologische Schätzungen über das Alter der Erde sowie Erkenntnisse aus der Demographie, über den Kampf um Ressourcen und aus der Züchtungsforschung mit einbezog und sie mit seinen profunden Naturbeobachtungen vereinte. Aber Darwin hatte keine genauen Vorstellungen über die Mechanismen der Vererbung. Eine Anekdote besagt, dass am Tag seines Todes die Schrift «Versuche über Pflanzenhybride» von Gregor Mendel (1822–1884) auf Darwins Schreibtisch gefunden wurde. Es wäre nicht nur aus wissenschaftshistorischer Sicht interessant gewesen zu erfahren, wie Darwin auf die Erkenntnisse seines Zeitgenossen reagiert hat. Mendels frühe Anhänger betrachteten die Vererbung von diskreten Genen nämlich als Widerspruch zur langsamen und kontinuierlichen Evolution im Sinne Darwins.

Es dauerte bis zur Mitte der 1930er Jahre, bis der nächste synthetische Schritt stattfand, nämlich derjenige zwischen Darwinscher Evolutionstheorie und Mendelscher Vererbungslehre. Eine kontinuierliche Verschiebung phänotypischer Merkmalsausprägungen, wie sie Darwins Selektionstheorie vorhersagte, sollte nicht länger im Widerspruch stehen zur Vererbung von nicht-kontinuierlichen Einheiten, den diskreten Allelen, wie Mendel sie sah. Aber auch neue Erkenntnisse aus der Zellbiologie, Paläontologie, Morphologie und Systematik flossen ein, um jene Synthese zu erzeugen, die heute noch das Paradigma der Evolutionsbiologie darstellt. Aus heutiger Sicht mag es

seltam erscheinen, dass dieser Schritt unter der Bezeichnung «Moderne Synthese» in die Literatur Eingang gefunden hat. Dies insbesondere deshalb, weil etwa zur selben Zeit der Grundstein zu dem gelegt wurde, was heute als moderne Biologie schlechthin bezeichnet wird: Die Identifikation der DNA als Träger der Erbinformation und nachfolgend die Entschlüsselung des genetischen Codes.

Auch dieser Phase der Synthese folgte eine Zeit der Trennung, diesmal zwischen der Evolutionsbiologie, die eine zunehmend mathematisch-genetische Interpretation der Evolution vorantrieb, der Ökologie, die Organismen in ihrer natürlichen Umwelt untersuchte und wenig mit der Theorie der Veränderung von Genfrequenzen anzufangen wusste, und der Molekularbiologie, die den Weg von der DNA zu den Phänotypen untersuchte.

Die Synthese der Systembiologie mit der Ökosystembiologie

John Maynard Smith (1920–2004), einer der grossen Populationsgenetiker des 20. Jahrhunderts, bemerkte einmal, dass den Studentinnen und Studenten in den 1960er Jahren die Ökologie, die Standortsansprüche oder das Verhalten der Arten wohl vertraut waren, und er sie vor allem in der genetischen Theorie der Evolution unterrichten musste. Zwanzig Jahre später musste Maynard Smith feststellen, dass die Studenten das formale Vokabular der Genetik bestens kannten; viel stärker musste jetzt die Tatsache unterrichtet werden, dass Evolution «draussen in der Natur» stattfindet und dass jede Art in ein Umfeld mit Konkurrenten, Fressfeinden, Pathogenen und Mutualisten eingebettet ist. Die heute anstehende Synthese, die längst noch nicht abgeschlossen ist, zielt auf die Verknüpfung molekularbiologischer Methoden mit den Fragen der Ökologie und Evolutionsbiologie ab.

In den mechanistisch-orientierten Disziplinen der Biologie hat sich in den letzten Jah-

ren die so genannte Systembiologie entwickelt, die sich zum Ziel gesetzt hat, ein integriertes Bild verschiedener Prozesse über möglichst viele Ebenen der biologischen Organisationsstufen – vom Genom über die Zellen bis hin zum Gesamtorganismus – zu bekommen. Diesen Systemgedanken gilt es durch evolutionär-ökologische Ansätze zu bereichern. Es zeugt von der bisherigen Trennung der Disziplinen, dass der Begriff der Systembiologie in der Molekular- und Zellbiologie erst kürzlich neu geprägt wurde, während er bei den Evolutionsbiologen und Ökologen seit dem Wirken des britischen Pflanzenökologen Arthur George Tansley (1871–1955) im Begriff der Ökosystembiologie längstens verankert ist. Die heute anstehende Synthese könnte also pointiert als die Synthese der Systembiologie mit der Ökosystembiologie bezeichnet werden. Einmal mehr weist hier die Evolutionsbiologie den Weg. Die Schweiz mit ihrer vergleichsweise grossen Zahl und Vielfalt an evolutionsorientierten Forschern und Forscherinnen scheint ausgezeichnet gerüstet, entscheidend zu dieser Synthese beizutragen.

Praktische Anwendungen

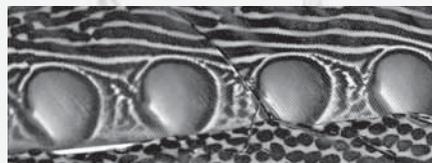
An den Schweizer Universitäten finden sich neben eigentlichen Evolutionsbiologen Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen der Ökologie, Systematik, Verhaltensforschung und sogar der Philosophie, Ökonomie, Linguistik und Medizin, die sich von evolutionären Fragestellungen leiten lassen. Nichts verdeutlicht Darwins enormen Einfluss auf die heutige Wissenschaft wohl besser, als diese Strahlkraft seiner Theorie in Bereiche ausserhalb der Biologie. Vielleicht wäre es daher auch an der Zeit, Theodosius Dobzhanskys (1900–1975) weithin bekannten Aphorismus «Nichts in der Biologie ergibt einen Sinn ausser im Licht der Evolution» neu zu überdenken und seine Einschränkung auf die Biologie zu revidieren.

Gleichzeitig stellen sich auch im angewandten Bereich unzählige evolutionsbiologische Fragen. Ob Arten angesichts des Klima- und Landnutzungswandels in der Lage sind, sich schnell genug auszubreiten oder sich an veränderte Umweltbedingungen anzupassen, erfordert Kenntnisse des Genflusses zwischen Populationen und des Ausmasses der genetischen Variation in ökologisch rele-

vanten Merkmalen. In der Invasionsbiologie stellt sich die Frage, ob der Erfolg fremdländischer Arten vor allem auf Evolution während des Invasionsvorgangs zurückgeführt werden kann, oder ob nur bestimmte, vorgepasste Arten sich erfolgreich ausbreiten können. Ob und wie Schädlinge Resistenzen gegen chemische Bekämpfungsmassnahmen evolvieren, ob lokale Sorten von Obstbäumen oder anderen Nutzpflanzen auch in Zukunft profitabel angebaut werden können und ob seltene Arten vor allem wegen ihrer geringen Anpassungsfähigkeit als gefährdet eingestuft werden müssen, sind offene Fragen. Durch deren Beantwortung kann die Evolutionsbiologie einiges zum Umsetzungserfolg in der Praxis beitragen. ■

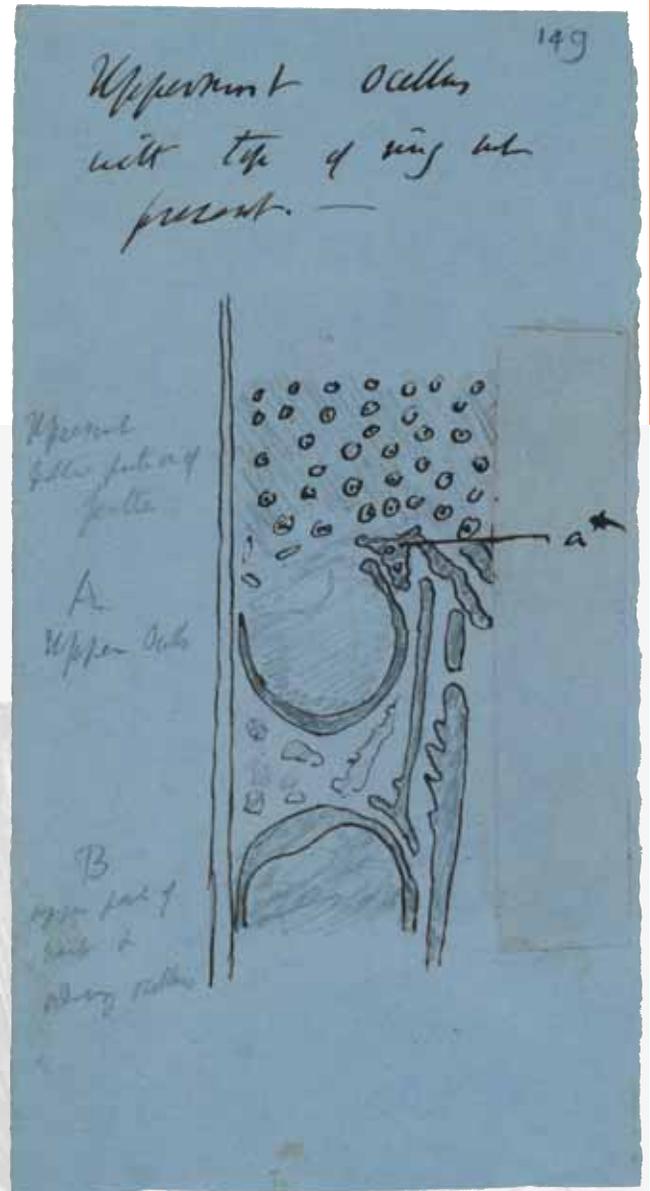
Evolutionstheorie im Bild

Damenwahl



(gk) Darwin schrieb 1859, dass die Existenz eines einzigen Naturprodukts, das nicht mit Evolution erklärt werden könne, seine Evolutionstheorie zum Scheitern verurteilen würde. Bauchschmerzen verursachten ihm zunächst die prächtigen Federn des Pfaus oder des Argusfasans. Für die Kritiker Darwins waren diese atemberaubenden Strukturen göttliche Kunstwerke, die nicht mit Evolution erklärt werden könnten. Darwin nahm die Herausforderung an und begann damit, die Ornamente auf den Federn des Argusfasans abzuzeichnen, immer auf der Suche nach zufälliger Variation. Die Zeichenkünste Darwins hielten sich in Grenze, doch sein Vorhaben war dadurch nicht gefährdet. Darwin konnte zeigen, dass die scheinbar vollkommenen Ornamente aus unzähligen Punkten, Strichen, Flecken und Kurven bestehen (siehe grosse Abbildung). Und es gelang ihm, die Evolution der «göttlichen Strukturen» nachzuvollziehen und den dahinterstehenden Mechanismus aufzudecken: Sexuelle Selektion. Die von der Natur hervorgebrachte Variation der Ornamente unterliegt der Auslese durch die Hennen, die immer jenes Argusfasanmännchen wählen, das über das schönste Gefieder verfügt. Das prächtige Gefieder vieler Vogelarten ist demnach nicht als Augenweide für den Menschen gedacht, sondern als Trumpf bei der Balz.

Grosses Bild aus Darwin Archiv (f.149r aus DAR 84) mit Erlaubnis des Syndikats der Cambridge University Library; Hintergrundbild: <http://darwin-online.org.uk/>; Kleines Bild: www.zmuc.dk



Evolution MegaLab

Natürliche Selektion im Garten erfassen

Von Bruno Baur, Institut für Natur-, Landschafts- und Umweltschutz, Universität Basel, CH-4056 Basel, bruno.baur@unibas.ch und Eva Inderwildi, Schweizer Vogelschutz SVS/BirdLife Schweiz, CH-8036 Zürich, eva.inderwildi@birdlife.ch

Mit «Evolution MegaLab», einer weltweit einzigartigen Aktion im Darwin-Jahr, soll den Schülern und Schülerinnen sowie der breiten Bevölkerung ein Aspekt der Evolution, nämlich natürliche Selektion, auf attraktive Art und Weise näher gebracht werden. Als Instrument wird dabei eine Kombination von Internetbenutzung und eigenen Feldbeobachtungen verwendet.

Als Modellorganismen für die Evolution dienen die weitverbreiteten Bänderschnecken *Cepaea nemoralis* und *C. hortensis*. Die Gehäuse der Bänderschnecken sind entweder gelb, rosa oder braun. Die Grundfarbe kann von

(Genfluss) und natürliche Selektion bestimmt. Singdrosseln ernähren sich zeitweise von Bänderschnecken. Da die Vögel visuell nach Beute suchen, erwischen sie hauptsächlich Schnecken, die nicht gut getarnt sind. Im schattigen Wald sind es vor allem hellchalige Individuen. So können durch selektive Futtersuche (= natürliche Selektion) die Häufigkeiten der Schalenfarben verändert werden. Wenn aber der Bestand der Singdrossel in einem Gebiet stark abnimmt, wie beispielsweise in England, dann fällt dieser Selektionsdruck weg, und die hellchaligen Schnecken sollten wieder häufiger werden.

Die Gehäusefarbe beeinflusst auch die Temperaturregulation der Schnecke. Helle

rauszufinden, ob ein allfälliger Rückgang der Singdrosseln und die Klimaerwärmung einen sichtbaren Einfluss auf die relativen Häufigkeiten der verschiedenen Gehäusefarben haben. Dabei steht der Weg zum Ziel im Vordergrund, nämlich die freiwillige Naturbeobachtung.

«Evolution MegaLab» wird von Spezialisten der Open University in England in enger Zusammenarbeit mit Fachleuten aus verschiedenen Ländern geleitet. In der Schweiz wird die Aktion von der Universität Basel wissenschaftlich betreut und vom Schweizer Vogelschutz SVS/BirdLife Schweiz bekannt gemacht. ■



Verschiedene Gehäusefarben und Bändertypen in einer Population von Bänderschnecken (*Cepaea nemoralis* und *Cepaea hortensis*) deuten auf eine grosse genetische Vielfalt hin. Fotos Bruno Baur (links), Robert Cameron.

einem bis fünf dunkelbraunen Bändern teilweise überdeckt sein. Viele Schnecken haben aber kein Band. Sowohl die Gehäusefarbe wie auch das Bänderungsmuster sind genetisch festgelegt. Sie sind somit ein direktes Mass für die genetische Vielfalt. Je mehr verschiedene Gehäusefarben und Bändertypen in einer Schneckenpopulation vorkommen, desto grösser ist ihre genetische Vielfalt.

Die relativen Häufigkeiten der verschiedenen Gehäusefarben und Bändermuster in einer Population werden durch Gründereffekte, genetische Drift, Ein- und Auswanderung

Gehäuse reflektieren die Sonnenstrahlen, während dunkle Gehäuse die Wärme stärker aufnehmen. Dunkle Gehäuse sind deshalb eher im kühlen Norden Europas zu finden, hellchalige Schnecken kommen hingegen häufiger in südlichen Breitengraden vor. Mit fortschreitender Klimaerwärmung wird erwartet, dass die gelben Schalen bei uns an Häufigkeit zunehmen.

Bei der Aktion «Evolution MegaLab» sind interessierte Personen in allen Ländern Europas eingeladen, Daten sammeln. Diese werden mit historischen Angaben verglichen um he-

Aktive Teilnahme erwünscht

Nehmen auch Sie an «Evolution MegaLab» teil. Erfassen Sie die Vielfalt der Bänderschnecken in Ihrem Garten, in einem nahe liegenden Wald oder auf einer Wiese in Ihrer Gemeinde. Wenn Sie die erhobenen Daten im Internet eingeben, haben Sie die Möglichkeit, diese mit allen anderen Eingaben auf einer GoogleEarth-Karte zu vergleichen und die Häufigkeiten der verschiedenen Schalenfarben und Bändermuster der Schnecken im Nachbardorf, in England oder in Schweden zu sehen. Die Internet-Seite ermöglicht auch einen Vergleich mit Daten, welche vor 25 Jahren oder früher erfasst wurden.

«Evolution MegaLab» eignet sich besonders gut für Schulklassen, die das Thema Evolution auf dem Stundenplan haben. Aber auch Familien und Einzelpersonen sind eingeladen, zwischen Frühling und Herbst 2009 auf die Schneckenpirsch zu gehen. Die Internetseite «Evolution MegaLab» (www.birdlife.ch/schnecken) wird am 12. Februar 2009, also genau am 200. Geburtstag von Darwin, aufgeschaltet. Auf der Internetseite sind alle Informationen, Bestimmungs- und Beobachtungsblätter zu finden. Für Lehrpersonen stehen Unterrichtsmaterialien zum Herunterladen bereit.

Die Erhaltungsarbeit der SKEK im Kontext der Evolutionstheorie Darwins

Von Robert Zollinger, Biologische Samengärtnerei, CH-1897 Les Evouettes, robert.zollinger@zollinger-samen.ch
 info@cpc-skek.ch, www.cpc-skek.ch

Charles Darwin hat zur Selektion von Kulturpflanzen Grundsätze formuliert, die bis heute Gültigkeit haben. Er förderte dadurch eine anwendungs- und nutzungsorientierte Pflanzenzüchtung, die zur Entstehung von zahlreichen Sorten geführt hat. In der Schweiz werden viele dieser Sorten im Rahmen des Nationalen Aktionsplans (NAP) erhalten. Die von der Schweizerischen Kommission zur Erhaltung von Kulturpflanzen (SKEK) koordinierte und vom Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) finanzierte Sortenerhaltung steht damit sowohl historisch wie fachlich in einem engen Kontext zur Evolutionstheorie von Darwin.

Das erste Kapitel in Charles Darwins Buch «Die Entstehung der Arten» heisst «Abänderung im Zustand der Domestikation». Die Analyse züchterischer Tätigkeiten von Gärtnern und Bauern bei Pflanzen und Tieren bildete für Darwin eine wichtige Grundlage auf dem Weg zu seiner Evolutionstheorie. Diese besagt, dass die Entwicklung der Organismen auf zwei sich bedingenden und ergänzenden Faktoren beruht: Erbliche Variabilität und Selektion. Die Selektion kann nur wirken, wenn eine innerartliche Variation existiert.

Die Menschen haben schon seit Tausenden von Jahren mehr oder weniger bewusst Pflanzen und Tiere durch Auslese domestiziert und nach ihren Vorstellungen verändert. Darwin schrieb dazu: «Es wäre auch wirklich sehr sonderbar, wenn die Aufmerksamkeit des Menschen sich nie auf die Zuchtwahl gerichtet hätte, da die Vererbung guter und schlechter Eigenschaften so augenfällig zutage tritt. (...) Die ganze Kunst

bestand darin, dass immer wieder der Same der besten Varietät ausgesät wurde; sobald sich später zufällig eine noch bessere Varietät zeigte, wurde dann diese wieder auserlesen usw».

Die Selektionszüchtung bedingt eine grosse Anzahl an Individuen. Darwin schrieb dazu: «Sind die Individuen nur spärlich vorhanden, so werden sie gewöhnlich samt und sonders, wie immer ihre Beschaffenheit sein mag,

«Ist eine Pflanzenrasse einmal gut ausgebildet, so liest der Samenzüchter nicht die besten Pflanzen aus, sondern entfernt nur jene, die sich, wie die Züchter sagen, «verlaufen haben», d.h. diejenigen, die am weitesten von ihrer Eigenart abweichen.»

Für die Selektion muss das erwünschte Sortenbild bekannt sein. Auch dieser Punkt wird im NAP berücksichtigt. In Sortenversuchen (so genannten Sichtungungen) werden für die Schweiz wichtige Sorten, die auf der Positivliste stehen, nach den Kriterien des Internationalen Verbandes zum Schutz von Pflanzenzüchtungen (UPOV) sowie nach ergänzenden, agronomisch relevanten Daten beschrieben. Ohne diese Grundlagen können die spezifischen Sortenmerkmale sehr schnell verloren gehen, da laut Darwin «... Liebhaber Mittelmässigkeiten nicht bewundern, sondern Extreme lieben.»

«Aber das Wichtigste ist vielleicht, dass das Tier oder die Pflanze für den Menschen so wertvoll sein muss, dass er selbst die geringste Abweichung ihrer Eigenschaften oder ihres Körperbaus sorgsam beachtet. Ohne solche Aufmerksamkeit kann nichts erreicht werden.» Diese Feststellung Darwins ist einleuchtend; wer möchte ihm hier widersprechen? Gemeint ist die Qualitätssicherung. Nur eine auf fachlicher Kompetenz und Sorgfalt basierende Erhaltungszüchtung kann eine Sorte über längere Zeit auf einem hohen Qualitätsniveau halten oder sogar verbessern. Der Ansatz des NAP könnte gemäss Darwins Formulierung weiterentwickelt werden: Die im Rahmen des NAP erhaltenen Sorten sollten nicht bloss zur Saatgutgewinnung vermehrt, sondern auch als Kulturpflanzen genutzt und so umfassend in ihren Eigenschaften beurteilt werden. ■



Sortenvielfalt bei Karotten um 1885. Album Benary 1876–1893, Tab IV.
 Nachdruck Manuscriptum Verlagsbuchhandlung, Leipzig 2000.

zur Nachzucht verwendet, und das verhindert die Auslese.» In den Erhaltungsprojekten des Nationalen Aktionsplans gilt der Umkehrsatz. Für jede Saatgutvermehrung sind so viele Pflanzen anzubauen, dass eine ausreichende Negativselektion erfolgen kann. Dazu Darwin:

Der Countdown 2010 läuft

Hat die Schweiz ihre Hausaufgaben gemacht?

Von Daniela Pauli, Forum Biodiversität Schweiz, CH-3007 Bern, pauli@scnat.ch

Forschende analysieren zurzeit die Entwicklung der Vielfalt in der Schweiz. Verlieren wir weiterhin Biodiversität oder konnte der Sinkflug aufhalten werden? Erfreulich ist in jedem Fall, dass bis ins Jahr 2010 ein Entwurf für die nationale Biodiversitätsstrategie vorliegen soll.

Im Gegensatz zur Klimakonvention und zum Kyoto-Protokoll forderte die Biodiversitätskonvention lange Zeit keine quantitativen und terminierten Ziele für die biologische Vielfalt. Das änderte sich an der Vertragsstaatenkonferenz in Johannesburg 2002: Die Partner der Konvention beschlossen, den Verlust der Biodiversität bis ins Jahr 2010 signifikant zu reduzieren. Die Umweltminister Europas, darunter die Schweiz, verpflichteten sich im Jahr 2003 in Kiew sogar dazu, den Verlust der Biodiversität bis 2010 ganz zu stoppen.

Eines ist heute schon klar: Die Frage, ob das Ziel erreicht wird, lässt sich nicht mit einem einfachen «Ja» oder «Nein» beantworten. Die Biodiversität ist zu vielfältig, als dass sie sich auf eine einzige Zahl beschränken liesse. Vielmehr müssen dafür verschiedene Messgrößen und Indikatoren herangezogen werden, deren Werte sich im Lauf der Zeit verändert haben könnten: Beispielsweise die Artenzahl verschiedener Organismengruppen, die Verbreitung von Arten, die Ausdehnung und Qualität von Lebensräumen, die genetische Vielfalt. Je differenzierter wir wissen, wie sich die verschiedenen Aspekte und Ebenen der Biodiversität entwickelt haben, desto präziser können wir daraus den Handlungsbedarf ableiten.

Das Forum Biodiversität Schweiz hat bei der Überprüfung des Biodiversitäts-Ziels die

Federführung übernommen. In Zusammenarbeit mit Expertinnen und Experten werden zurzeit für alle Ebenen der Biodiversität die Trends bestimmt. Die Resultate werden 2010 in einem wissenschaftlich fundierten Buch veröffentlicht.

Die Schweiz auf dem Weg zur Biodiversitätsstrategie

Im Jahr 2010 stellt die Schweiz die Weichen für die Biodiversität. Bis dann soll endlich ein Entwurf der nationalen Biodiversitätsstrategie vorliegen. Bereits im Oktober 2004 hat das Forum Biodiversität Schweiz die wissenschaftlichen Grundlagen für eine Strategie vorgelegt. Im Mai 2008 beanstandete Nationalrätin Adèle Thorens Goumaz, dass die Biodiversität in der Legislaturplanung des Bundes mit keinem Wort erwähnt sei, und beantragte, die Erarbeitung einer nationalen Strategie aufzunehmen. Im September stimmte das Parlament diesem Antrag zu.

Die Biodiversitätsstrategie wird in den kommenden Monaten unter Federführung des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) erarbeitet. Es ist uns ein zentrales Anliegen, dass die Wissenschaft in diesen wichtigen Prozess von Anfang an einbezogen wird. Die Strategie muss die vielen bestehenden Programme, Konzepte und Instrumente in einen Gesamtrahmen einbetten und aufeinander abstimmen, um Zielkonflikte und Doppelspurigkeiten zu beseitigen und noch bestehende Lücken aufzuzeigen. Sie muss zudem alle Politikbereiche einbeziehen. Ziel soll es sein, die zur Verfügung stehenden Mittel in Zukunft da einzusetzen, wo sie der Biodiversität am meisten bringen. ■



Foto Beatrice Rümmele

Die Plattform Biologie der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften (SCNAT) hat für das Darwin-Jahr 2009 eine attraktive Informations- und Austauschplattform aufgebaut (www.biologie.scnat.ch/d/Darwin/).

Hier finden Sie unter anderem eine Datenbank mit Darwin-Expertinnen und -experten sowie einen Veranstaltungskalender mit Anlässen in allen Regionen der Schweiz. Dabei ist uns das Projekt tomARTen des Naturmuseums Thurgau besonders aufgefallen. Es verbindet auf originelle Weise Artenvielfalt und Biodiversität mit Darwins Evolutionstheorie. Im Projekttitel sind die Wörter «Tomate» und «Art» (Kunst) versteckt. Tatsächlich handelt es sich um ein Kunstprojekt, welches die Biodiversität am Beispiel der Tomaten erlebbar machen will. Dafür vergibt das Naturmuseum eine grosse Vielfalt von Tomatensetzlingen an freiwillige Ziehmütter und -väter, welche die Pflanzen bis zur Tomatenreife pflegen (www.tomarten.ch).

Das Forum Biodiversität Schweiz plant, für das Internationale Jahr der Biodiversität 2010 einen ähnlichen Veranstaltungskalender zu führen. Planen Sie Exkursionen, Ausstellungen Vorträge etc. zur Biodiversität? Nehmen Sie mit uns Kontakt auf: biodiversity@scnat.ch.



Der Schweizer Clearinghouse Mechanismus

Das Informationssystem des Bundes zum Thema Biodiversität

Von Eric Wiedmer, Sekretariat CH-CHM, eric.wiedmer@gruner.ch

Nächstes Jahr ist das internationale Jahr der Biodiversität. Es stellt sich die Frage, ob das vor zehn Jahren festgelegte globale Ziel, den Verlust an Biodiversität bis 2010 signifikant zu reduzieren, erreicht wird. Welchen Beitrag leistet die Schweiz zur Zielerreichung? Der Schweizer Clearinghouse Mechanismus (CH-CHM) bietet dazu einen guten Überblick.

Der Clearinghouse Mechanismus ist das globale Informationsnetzwerk der Konvention über die biologische Vielfalt (CBD). Als zentrale Plattform dient die Homepage der CBD (www.cbd.int). Nationale CHMs sind daran angegliedert.

Der Schweizer Clearinghouse Mechanismus (<http://www.ch-chm.ch>) existiert seit dem Jahr 2002 (vgl. Hotspot 7/2003). Das Datenportal umfasst eine Meta-Datenbank mit Suchfunktion und wurde laufend weiterentwickelt. Es dient als Informationsplattform für internationale Akteure sowie als Arbeitsinstrument für die schweizerischen Behörden und die interessierte Öffentlichkeit. Möglichst alle biodiversitätsrelevanten Informationen der Bundesbehörden sollen im CH-CHM enthalten sein.

Einen Einstieg in das CH-CHM verschafft die Menüliste, welche grundlegende Informationen zur Biodiversitätskonvention (CBD) enthält, in die Organisation der Umsetzung in der Schweiz einführt und die vielfältigen Instrumente zum Schutz und zur nachhaltigen Nutzung der Biodiversität vorstellt. Der Ordner «Nationalberichte» enthält nicht nur die offiziellen Berichte der Schweiz zuhanden der CBD, sondern auch jene zuhanden anderer

biodiversitätsrelevanter Konventionen und Organisationen.

Die Menüordner «Arbeitsprogramme» und «Querschnittsthemen» sind in Anlehnung an die Arbeitsorganisation der CBD aufgebaut. Diese Ordner geben einen Überblick zur Situation in der Schweiz, enthalten Hyperlinks zu den Bundesstellen und listen ausgesuchte Publikationen und Projekte des Bundes auf. In den Menüordnern sind Verknüpfungen zu den Arbeitsgrundlagen der CBD enthalten, zum Beispiel zu Strategien, Leitlinien, Dokumenten, Beschlüssen der Vertragsstaatenkonferenzen sowie zu den spezifischen Seiten der umfangreichen Homepage der Biodiversitätskonvention.

Das Querschnittsthema «2010 Zielsetzung» weicht von der oben beschriebenen Organisation ab. Hier wird die Mission der CBD beschrieben, welche eine signifikante Reduktion des Verlusts der biologischen Vielfalt bis zum Jahr 2010 erreichen möchte. Die quantitativen und qualitativen Unterziele der Konvention werden vorgestellt. Den Unterzielen der CBD sind die Indikatoren des Bundes (z.B. BDM, MONET, Agrar-Umweltmonitoring) zugeordnet. Dies erlaubt eine erste grobe Schätzung des inhaltlichen Beitrages der Schweiz an die internationale Zielsetzung.

Das Feld «Suche» ermöglicht das Durchforsten der Datenbank anhand von Schlüs-

selbegriffen. Die Information lässt sich auch thematisch abfragen, also geordnet nach CBD-Programmen. Ein Klick – beispielsweise auf das CBD-Programm zur Agrobiodiversität – bringt die biodiversitätsrelevante Information des Bundesamts für Landwirtschaft (BLW), des Bundesamts für Umwelt (BAFU), der Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit (DEZA) und anderer Quellen (z.B. Forschungsanstalten des Bundes) zum Vorschein.

Bei Fragen zum CH-CHM und zur Biodiversitätskonvention können Sie sich mit der «Kontakt»-Schaltfläche auf der Homepage mit uns in Verbindung setzen. Wir sind Ihnen gerne behilflich. ■



Foto Gregor Klaus



Anpassungsfähige Arten erobern die Siedlungen

Von Urs Draeger, Koordinationsstelle BDM, draeger@comm-care.ch

Daten des BDM deuten darauf hin, dass die Pflanzenvielfalt im Siedlungsraum nicht besonders hoch ist. Es sind vor allem anpassungsfähige Arten, die in Siedlungen einen neuen Lebensraum gefunden haben. Besonders erfolgreich sind gewisse Moosarten, die im Siedlungsraum neue Artengemeinschaften bilden.



Früher eher selten, heute dank seiner Anpassungsfähigkeit sehr häufig: das Silbermoos (*Bryum argenteum*). Foto Norbert Schnyder

Das Silbermoos (*Bryum argenteum*) ist ein Anpassungskünstler. Der ursprüngliche Bewohner von Felsen und Flussaue kommt gegenwärtig auf sehr vielen BDM-Stichprobenflächen im Siedlungsraum vor. Mit den dortigen, schwierigen Bedingungen kommt das Moos bestens zurecht: Es erträgt Fusstritte, lässt sich unbeschadet überfahren, trotz Abgasen, Putzmaschinen und Streusalz. Andere Moose oder Pflanzenarten, die ihm den Platz in natürlichen Habitaten streitig machen, sind gegenüber den Bedingungen in Siedlungen

meistens weit weniger widerstandsfähig. Auch in seinen angestammten Lebensräumen kann das konkurrenzschwache Silbermoos nur dann überleben, wenn Umwelteinflüsse wie Überschwemmungen Konkurrenten dezimieren. Bleibt ein Standort hingegen weitgehend ungestört, wird das Silbermoos schnell verdrängt. Dies wird ihm in Siedlungen gewöhnlich erspart – das auch «Pflasterritzenmoos» genannte Gewächs dringt dort sogar bis ins Zentrum grösserer Städte vor. Es wächst fast überall, in Trottoirritzen, im Strassengraben oder eben zwischen Pflastersteinen. Überleben unter schwierigen Bedingungen als Erfolgsgarant: Dank dieser ausgeprägten Fähigkeit kommt das einst eher seltene Moos heute schweizweit gesehen überaus häufig vor.

Diese Entwicklung kann das BDM mit dem Kernindikator «Artenvielfalt in Lebensräumen (Z9)» gut belegen. Das Bundesprogramm zeigt, welche Arten wo leben und wie häufig eine Art in gewissen Lebensräumen vorkommt – etwa auf landwirtschaftlichen Flächen, im Wald oder in Siedlungen. Siedlungsflächen sind im Hinblick auf die Anpassungsfähigkeit von Arten besonders interessant, denn es sind evolutionsgeschichtlich relativ neue Lebensräume. In Siedlungen leben vor allem Arten, die besonders gut mit den neuen Bedingungen zurecht kommen. Moose sind offenbar speziell erfolgreich: Auf BDM-Stichprobenflächen in Siedlungen leben einige Moosarten, die auf anderen BDM-Flächen nur selten gefunden werden (siehe Tabelle).

Moose bilden zudem in Siedlungen spezielle Artengemeinschaften, die sich deutlich von Artengemeinschaften im Wald oder im Landwirtschaftsgebiet unterscheiden. Das Spezielle an den urbanen Moosgemeinschaf-

ten ist die Kombination aus Arten, die auch in landwirtschaftlichen Gebieten vorkommen, und Felsenmoosen, die normalerweise auf Kalkgestein wachsen. Das Resultat ist eine neue, für Siedlungen typische Artenzusammensetzung.

Mässig hohe Vielfalt in Siedlungen

Anders als bei den Moosen stellt das BDM für Gefässpflanzen und Mollusken keine besondere Artenzusammensetzung in Siedlungen fest. Die Zusammensetzung der Pflanzen- und Molluskenarten auf Siedlungsflächen ähnelt vielmehr jener von Landwirtschaftsflächen. Entgegen der Meinung vieler Experten scheint die Artenvielfalt von Pflanzen in Siedlungen zudem nicht besonders hoch zu sein. Werden alle Stichprobenflächen – also auch versiegelte – berücksichtigt, unterscheidet sich die durchschnittliche Artenvielfalt in Siedlungen kaum von derjenigen im Landwirtschaftsgebiet oder im Wald (siehe Balkendiagramm).

Es muss allerdings berücksichtigt werden, dass die Verschiedenartigkeit der Stichprobenflächen in Siedlungen grösser ist als im Wald oder auf Landwirtschaftsflächen. Die durchschnittliche BDM-Stichprobenfläche in einer Siedlung beherbergt daher relativ wenige Pflanzenarten, die Pflanzenzusammensetzung ändert sich jedoch von einer Stichprobenfläche zur nächsten relativ stark. Insofern widersprechen die Resultate des BDM der oft geäusserten Hypothese, die besagt, dass Siedlungen besonders artenreich seien, diese Vielfalt aber stets durch ungefähr die gleichen Pflanzenarten gebildet würde.

Anders sieht es aus, wenn sämtliche versiegelten Stichprobenflächen von der Auswertung ausgeschlossen werden. Unter dieser

Voraussetzung präsentieren sich die Siedlungen relativ artenreich. Sowohl die Gefässpflanzen als auch die Moos- und die Molluskenvielfalt ist dann in Siedlungen im Durchschnitt grösser als im Landwirtschaftsgebiet. Bei den Gefässpflanzen ist die mittlere Artenvielfalt in Siedlungen sogar höher als im Wald. Dies ist ein Hinweis darauf, dass sich in Siedlungen eine relativ hohe Artenvielfalt bilden kann, solange es genügend unversiegelte Flächen gibt.

Unerreichtes Stadtzentrum

Allerdings gibt es grosse Unterschiede zwischen verschiedenen Siedlungstypen. Die

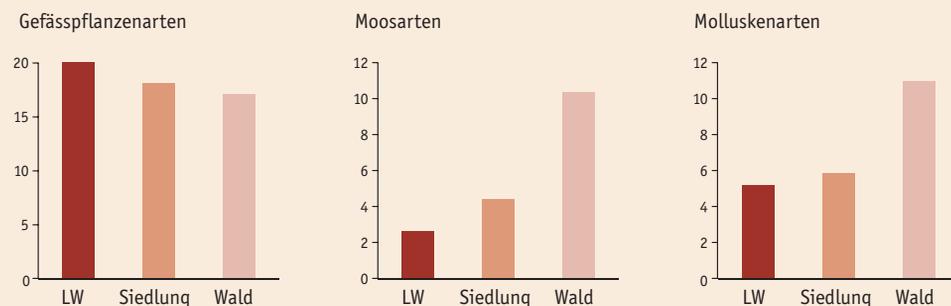
Koordinationsstelle BDM hat jene Stichprobenflächen ausgewertet, die in Gebieten liegen, die das digitale Landschaftsmodell («Vector25») der Schweizerischen Landestopografie als «Siedlung» bezeichnet. Darunter versteht die Landestopografie alles, von kleinen Dörfern bis zu Metropolen wie Basel oder Genf. Die Untersuchungen zeigen: Mit zunehmender Siedlungsgrosse nimmt die durchschnittliche Artenvielfalt ab – sowohl bei Gefässpflanzen, als auch bei Moosen und Mollusken. Als Faustregel lässt sich festhalten: Je grösser die Stadt, desto kleiner die Artenvielfalt. Diese Erkenntnis könnte damit zu tun haben, dass

die Artenvielfalt abnimmt, je mehr man sich dem Zentrum nähert – ein Zusammenhang, der unabhängig davon gilt, ob versiegelte Flächen mit untersucht werden oder nicht.

Die geringere Artenvielfalt erklärt sich also nicht nur dadurch, dass es im Zentrum der Städte mehr versiegelte Flächen gibt. Vielmehr dürfte die relative Artenarmut darauf zurückzuführen sein, dass es viele Arten nicht schaffen, durch die Agglomerationsgürtel hindurch in die Innenstädte vorzustossen. Das Silbermoos ist hier eine Ausnahme. ■

Indikatorarten für Siedlungen (Gefässpflanzen, Moose, Mollusken)

Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name
GEFÄSSPFLANZEN	
<i>Poa annua</i>	Einjähriges Rispengras
<i>Poa pratensis</i> (agg.)	Wiesen-Rispengras
<i>Cardamine hirsuta</i>	Vielstengeliges Schaumkraut
<i>Glechoma hederacea</i> s.l.	Gewöhnliche Gundelrebe
<i>Festuca rubra</i> s.l.	Rotschwingel
MOOSE	
<i>Bryum argenteum</i>	Silbermoos
<i>Tortula muralis</i>	Mauer-Drehzahnmoos
<i>Calliergonella cuspidata</i>	Spiessmoos
<i>Schistidium apocarpum</i>	Verstecktkapseliges Spalthütchen
<i>Amblystegium serpens</i>	Kriechendes Stumpfdeckelmoos
MOLLUSKEN	
<i>Vallonia costata</i>	Gerippte Grasschnecke
<i>Cecilioides acicula</i>	Gemeine Blindschnecke
<i>Vertigo pygmaea</i>	Gemeine Windelschnecke
<i>Punctum pygmaeum</i>	Gemeine Punktschnecke
<i>Hygromia cinctella</i>	Kantige Laubschnecke



Der mittlere Artenreichtum im Landwirtschaftsgebiet (LW), in Siedlungen und im Wald (inklusive versiegelter Flächen).

Kurzfilme über BDM-Methoden

Wenn die Artenvielfalt im Feld erfasst wird, halten sich die Mitarbeitenden des BDM strikt an eine eigens für das Programm entwickelte, hoch standardisierte Methodik. Diese garan-

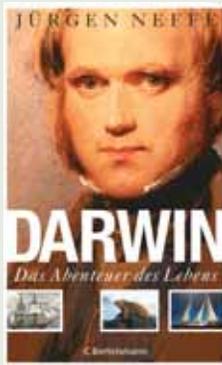


Auf der Jagd nach guten Bildern: Das Filmteam bei der Arbeit. Foto Natalie Oberholzer

tiert die Reproduzierbarkeit der Aufnahmen und gewährleistet, dass die im Laufe der Jahre erhobenen Daten miteinander verglichen werden können.

Auf der BDM-Website können neu zwei kurze Filme abgerufen werden, die einen Eindruck davon geben, wie im Feld vorgegangen wird. Sie erklären die Methodik anschaulich, jedoch nicht bis ins letzte Detail. Der erste Film erläutert, wie die Artenvielfalt in Landschaften erfasst wird; der zweite zeigt die Aufnahme der Artenvielfalt in Lebensräumen.

www.biodiversitymonitoring.ch > Konzept > Aufnahme



Auf den Spuren von Darwin

(gk) In seiner Autobiographie vermerkte Darwin: «Die Reise der *Beagle* ist das bei weitem bedeutungsvollste Ereignis in meinem Leben». Um herauszufinden, was Darwin mit dieser Erinnerung gemeint hat, erfüllte sich der Biologe und preisgekrönte Wissenschaftsjournalist Jürgen Neffe den Traum eines jeden Biographen: er reiste dem Porträtierten monatelang hinterher und besuchte all jene Orte, an denen die Natur zu Darwin gesprochen hat. Neffes Darwin-Biographie ist mehr als ein

spannender Reisebericht. Dem Autor gelingt eine ganz besondere Synthese aus eigenem Erleben, biographischer Erzählung und biologischem Wissen. Die Wissenschaftsreportage durch wirkliche und geistige Landschaften ist mitreissend und einfühlsam, intelligent und scharfsinnig. Kein anderes Buch zum Darwin-Geburtstag erreicht dieses Niveau.

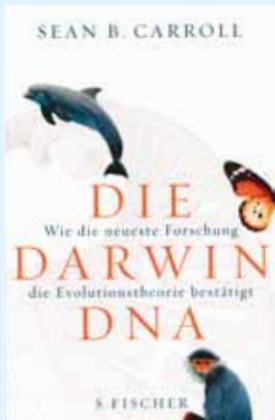
Jürgen Neffe (2008). Darwin – Das Abenteuer des Lebens. C. Bertelsmann Verlag, München. 528 S., CHF 39.90.

Die Evolution in unseren Genen

(gk) Nachdem Darwin seine Evolutionstheorie postuliert hatte, konnten Wissenschaftler die natürliche Selektion über Jahrhunderte nur auf der Ebene ganzer Organismen untersuchen. In seinem unterhaltsamen Buch zeigt Sean B. Carroll von der Universität von Wisconsin, wie sich mithilfe von DNA-Analysen unsere Kenntnisse über die Evolutionsprozesse tiefgreifend erweitert haben und wie eine junge Wissenschaft neuartige Bestätigungen der Evolutionstheorie ermöglicht hat. Dennoch zweifelt die Hälfte der Einwohner der USA am Wahrheitsgehalt der Theorie – doch fast alle befürworten die Verwendung von

DNA-Analysen bei Gerichtsprozessen. Carroll schreibt dazu: «Ganz offensichtlich ist uns die Nutzung der DNA in der Gegenwart angenehmer als ihre Aussagen über die Vergangenheit». Carroll liefert in seinem Buch, das sich für Naturinteressierte, Lehrer und Studenten eignet, all jenen, die sich mit der Rhetorik der Kreationisten herumschlagen müssen, wertvolle Hintergrundkenntnisse über Taktik und Argumente der Evolutionsgegner.

Sean B. Carroll (2008). Die Darwin-DNA. Wie die neueste Forschung die Evolutionstheorie bestätigt. S. Fischer Verlag, Frankfurt a. M. 336 S., CHF 35.40.



Evolution für die Schulen

(dm) Was versteht man unter der Evolutionstheorie? Was ist eine Art? Wie leben die «Evomares» und wie sieht ihr Stammbaum aus? Das neue Lehrmittel des Schulverlags blmv zu Evolutionstheorie erlaubt es, die Evolution auf spielerische und einfache Art anhand imaginärer Organismen zu erleben. Im Zentrum steht das Lernmaterial. Zudem wurde ein Magazin entwickelt, das wissenschaftlich fundiert die Phänomene der Fortpflanzung, der Mutation, der natürlichen Selektion, des Gendrifts und der Entstehung einer Art erklärt. Während Inhalt, Entwicklung und Wirkung der Evolutionstheorie von

Charles Darwin viel Platz erhielten, wurde die Koevolution zwischen Organismen sowie die Zeitskala der Evolution etwas vernachlässigt. Dennoch ist ein gelungenes Lehrmittel für die Sekundarstufe I entstanden, das die Evolutionstheorie auf anschauliche und intelligente Weise vorstellt. Es entstand als Folge der massiven Kritik am Lehrmittel «NaturWert» des gleichen Schulverlags (siehe auch Seiten 8–10 in diesem HOTSPOT).

Markus Wilhelm (2008). Evolution verstehen. Schulverlag blmv, Bern. Magazin. CHF 42.–



Darwins Pflanzen

(js) Darwin wird meistens als Zoologe, manchmal auch als Geologe oder Paläontologe, nicht aber als Botaniker wahrgenommen. Doch nachdem Darwin 1859 «Die Entstehung der Arten» veröffentlicht hatte, entstanden zwischen 1862 und 1880 acht botanische Bücher. Darwins Interesse galt der Sexualität und Variabilität der Pflanzen, den Anpassungen ihrer Blüten für Fremdbestäubung und dem Bewegungsvermögen von Pflanzen. Darwins experimentelle Studien mit Pflanzen haben massgeblich

zur Vertiefung seiner Evolutionstheorie beigetragen. Die Buchbeiträge eines Symposiums der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft zum Darwin-Jahr beschäftigten sich unter anderem mit den botanischen Arbeiten Darwins und der Rolle, welche diese für die Bestätigung seiner Evolutionstheorie gespielt haben.

Jürg Stöcklin, Ekkehard Höxtermann (Hrsg.) (2009). Darwin und die Botanik. Basilisken-Press im Verlag Natur & Text, Rangsdorf. 38 CHF. Erscheint im März 2009.

