



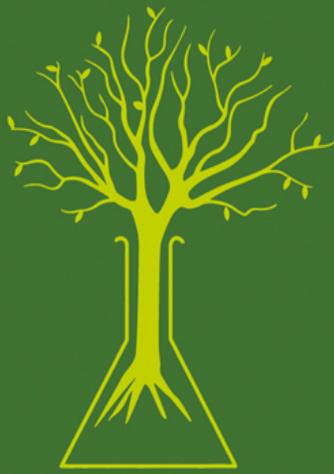
GENE SIND
EGOISTISCHE
MOLEKÜLE



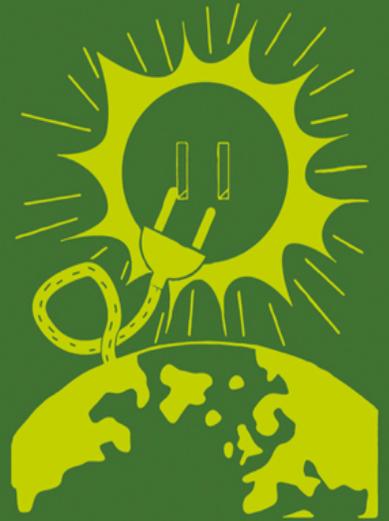
GEWISSE ARTEN
SCHLIESSEN SICH
ZU NATÜRLICHEN
VEREINEN ZUSAMMEN



DIE ZEIT IST FÜR DIE
WISSENSCHAFT GEKOMMEN,
SICH MIT DER ERDE SELBST
ZU BESCHÄFTIGEN



SONNENENERGIE
IST UNBEGRENZT
UND KOSTET NICHTS



ALLE KÖRPERLICHE
AKTIVITÄT
HÄNGT VON DER
TEMPERATUR AB

DAS ÖKOLOGIE- BUCH

NAHRUNG IST
DAS ZENTRALE
THEMA



WIR SPIELEN WÜRFEL
MIT DER NATÜRLICHEN
UMWELT

GLOBAL DENKEN,
LOKAL HANDELN



WENN MAN DIE NAMEN
DER DINGE NICHT KENNT,
GEHT DAS WISSEN
ÜBER SIE VERLOREN



INHALT

EINLEITUNG

DIE GESCHICHTE DER EVOLUTION

Zeit ist unerheblich und niemals eine Schwierigkeit für die Natur

Frühe Theorien der Evolution

Eine Welt vor der unsrigen, zerstört durch eine Katastrophe

Aussterben und Veränderung

Keine Spur eines Anfangs – kein Anzeichen für ein Ende

Aktualismus

Der Kampf ums Dasein

Evolution durch natürliche Selektion

Wir Menschen geben Gene weiter

Die Vererbungsregeln

Wir haben das Geheimnis des Lebens entdeckt

Die Rolle der DNA

Gene sind egoistische Moleküle

Das egoistische Gen



ÖKOLOGISCHE VORGÄNGE

Lehren aus der mathematischen Theorie zum Kampf ums Überleben

Räuber-Beute-Gleichungen

Existenz wird von einigen wenigen Umständen bestimmt

Ökologische Nischen

Totale Konkurrenten können nicht koexistieren

Das Konkurrenzausschlussprinzip

Die Ergebnisse aus Forschung im Freien können mehr als nutzlos sein

Freilandexperimente

Mehr Nektar heißt mehr Ameisen und mehr Ameisen heißt mehr Nektar

Mutualismus

Wellhornschnecken sind wie kleine Wölfe in Zeitlupe

Schlüsselarten

Wie fit ein nach Futter suchendes Tier ist, hängt von seiner Effizienz ab

Optimaler Nahrungserwerb

Parasiten und Krankheitserreger regulieren Populationen wie die Räuber

Ökologische Epidemiologie

Warum Pinguine niemals kalte Füße haben

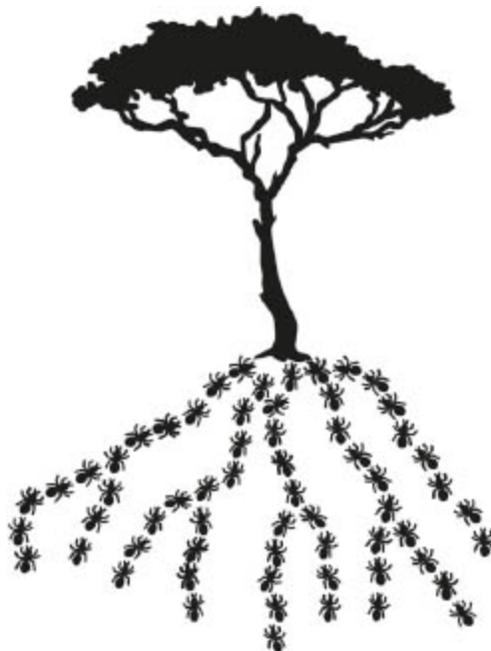
Ökophysiologie

Alles Leben ist chemisch

Ökologische Stöchiometrie

Angst an sich ist eine mächtige Kraft

Nicht konsumtive Effekte der Räuber auf ihre Beute



ORDNUNG IN DER NATÜRLICHEN WELT

In allen Dingen der Natur gibt es etwas Bewundernswertes

Klassifikation der Lebewesen

Mit dem Mikroskop entkommt nichts unserer Erforschung

Die mikrobiologische Umwelt

Wenn man die Namen der Dinge nicht kennt, geht das Wissen über sie verloren

Ein System zur Identifizierung aller Lebewesen

»Fortpflanzungsmäßig isoliert« sind die Schlüsselworte

Das biologische Artkonzept

Organismen gruppieren sich klar in mehrere primäre Reiche

Diversität aus moderner Sicht

Wer die Biosphäre rettet, könnte die Welt retten

Menschliche Aktivität und Biodiversität

Wir befinden uns in der Anfangsphase eines Massenaussterbens

Biodiversitäts-Hotspots

DIE VIelfALT DES LEBENS

Die Mikroben werden das letzte Wort haben

Mikrobiologie

Gewisse Baumarten stehen mit einem Pilzmycelium in Symbiose

Die allgegenwärtigen Mykorrhizae

Nahrung ist das zentrale Thema

Tierökologie

Vögel legen so viele Eier, dass die optimale Zahl an Nachkommen herauskommt

Regulierung der Gelegegröße

Der Bund mit einem treuen Hund ist so ewig, wie Bindungen zwischen Lebewesen überhaupt sein können

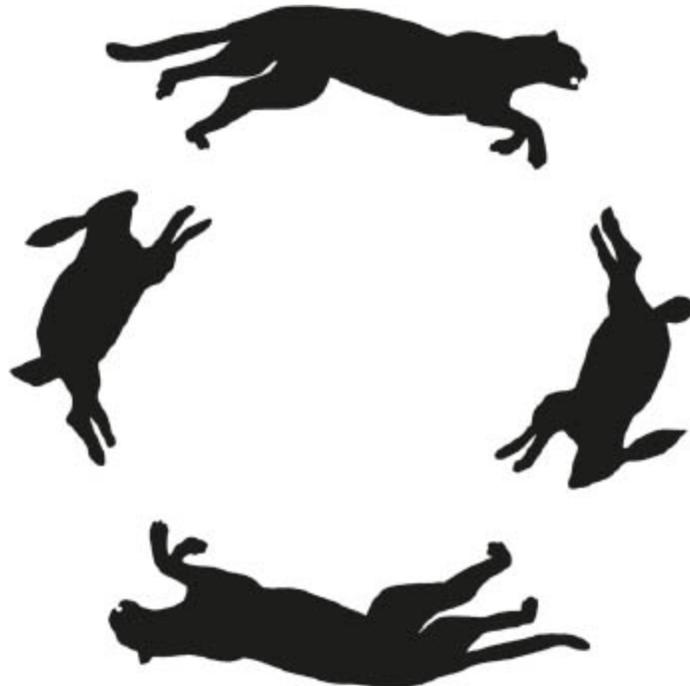
Tierverhalten

Definiere »Werkzeug« neu, definiere »Mensch« neu – oder akzeptiere Schimpansen als menschlich

Mit Tiermodellen das menschliche Verhalten verstehen

Alle körperliche Aktivität hängt von der Temperatur ab

Thermoregulation bei Insekten



ÖKOSYSTEME

Jedes Einzelteil des Werks der Natur ist notwendig, um alle anderen Teile zu unterstützen

Die Nahrungskette

Alle Lebewesen sind potenzielle Nahrungsquellen für andere Lebewesen

Das Ökosystem

Das Leben wird von einem gewaltigen Netzwerk aus Prozessen unterstützt

Energieflüsse in Ökosystemen

Die Welt ist grün

Trophische Kaskaden

Inseln sind ökologische Systeme

Inselbiogeografie

Die konstante Anzahl von Arten ist das, was zählt

Ökologische Resilienz

Populationen unterliegen unvorhersagbaren Kräften

Die neutrale Theorie der Biodiversität

Nur eine Gemeinschaft von Forschern hat die Chance, das große Ganze zu durchdringen

Langzeitstudien

Welche Strategie gut ist, hängt davon ab, was andere tun

Evolutionär stabiler Zustand

Arten erhalten die Funktionalität und die Stabilität von Ökosystemen

Biodiversität und Ökosystemfunktion



LEBEWESEN IN EINER SICH WANDELNDEN UMWELT

Die philosophische Naturkunde kann die Gegenwart nicht ohne die Vergangenheit fassen

Die Verteilung von Arten in Raum und Zeit

Das virtuelle Wachstum der Bevölkerung wird durch die Fruchtbarkeit des Landes begrenzt

Die logistische Gleichung

Die erste Voraussetzung ist die genaue Kenntnis der natürlichen Ordnung

Organismen und ihre Umwelt

Gewisse Arten schließen sich zu natürlichen Vereinen zusammen

Die Fundamente der Pflanzenökologie

Welche Faktoren sorgen für Unterschiede zwischen Pflanzen?

Klima und Vegetation

Ich habe einen starken Glauben an einen Samen

Ökologische Sukzession

Die Gesellschaft entsteht, wächst, reift und stirbt

Klimaxgesellschaft

Eine Assoziation ist kein Organismus, sondern ein Zufall

Offene Gemeinschaft

Eine Gruppe von Arten nutzt ihre Umwelt auf ähnliche Weise

Die ökologische Gilde

Das Bürgernetz beruht auf Freiwilligkeit

Citizen Science

Die Populationsdynamik wird unvorhersehbar, wenn die Reproduktionsrate sehr hoch ist

Chaotische Populationsänderungen

Um das große Ganze zu erkennen, betrachte es aus der Entfernung

Makroökologie

Eine Population von Populationen

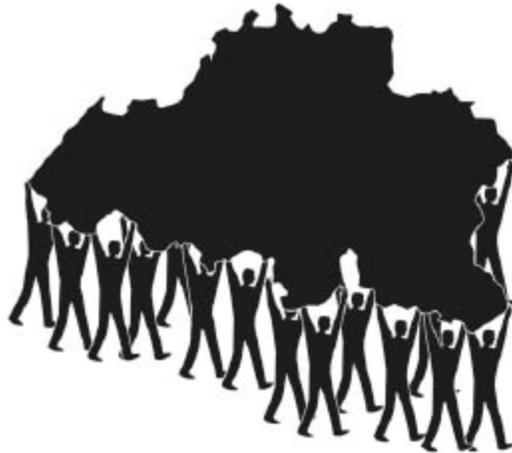
Metapopulationen

Organismen verändern und gestalten die Welt, in der sie leben

Nischenkonstruktion

Lokale Gemeinschaften, die Kolonisten austauschen

Metagemeinschaften



DIE LEBENDE ERDE

Der Gletscher war Gottes großer Pflug

Eiszeiten

Auf der Karte gibt es nichts, was die Grenze markiert

Biogeografie

Die Erderwärmung ist keine Vorhersage, sie findet statt

Globale Erderwärmung

Lebende Materie ist die mächtigste geologische Kraft

Die Biosphäre

Das System der Natur

Biome

Wir halten die Dienstleistungen der Natur für selbstverständlich, weil wir nicht dafür bezahlen

Eine ganzheitliche Sicht der Erde

Plattentektonik ist nicht nur Chaos und Zerstörung

Kontinentaldrift und Evolution

Das Leben verändert die Erde für seine eigenen Zwecke

Die Gaia-Hypothese

Vor 65 Mio. Jahren tötete etwas die Hälfte des Lebens auf der Erde

Massenaussterben

Das Verbrennen aller Brennstoffressourcen wird einen galoppierenden Treibhauseffekt auslösen

Rückkopplungen in der Umwelt



DER FAKTOR MENSCH

Die Umweltverschmutzung ist eine unheilbare Krankheit

Umweltverschmutzung

Gott kann diese Bäume nicht vor Dummköpfen schützen

Gefährdete Lebensräume

Wir sehen den Beginn eines sich schnell wandelnden Planeten

Die Keeling-Kurve

Man hat eine Gemeinschaft von Lebewesen mit einem Hagel von Chemikalien überschüttet

Das Erbe der Pestizide

Ein langer Weg von der Entdeckung zum politischen Handeln

Saurer Regen

Eine endliche Welt kann nur eine endliche Bevölkerung ernähren
Überbevölkerung

Den dunklen Himmel gibt es nicht mehr
Lichtverschmutzung

Ich kämpfe für die Menschheit
Entwaldung

Das Loch in der Ozonschicht ist wie ein Himmelsschreiben
Ozonabbau

Können wir ohne Wasser leben?
Ressourcenverknappung

Fangschiffe erbeuten zu viel Fisch
Überfischung

Die Einführung von ein paar Kaninchen kann doch wohl nicht schaden
Invasive Arten

Wenn die Temperaturen steigen, gerät das fein ausbalancierte System durcheinander
Frühlingsverschiebung

Eine der größten Bedrohungen der Biodiversität sind Infektionen
Amphibienkrankheiten

Zunehmendes CO₂ verändert die Grundbausteine des Meerwassers und nimmt vielen Organismen die Lebensgrundlage
Versauerung der Meere

Die Umweltschäden durch Flächenverbrauch lassen sich nicht ignorieren
Zersiedelung

Unsere Ozeane verwandeln sich in eine Plastiksuppe
Plastikmüll

Wasser ist ein öffentliches Gut und ein Menschenrecht

Die Wasserkrise



NATUR- UND UMWELTSCHUTZ

Die Überlegenheit des Menschen über die Natur beruht auf Wissen

Herrschaft der Menschheit über die Natur

Die Natur ist ein großartiger Ökonom

Die friedliche Koexistenz von Menschheit und Natur

In der Wildnis wird die Welt bewahrt

Romantik, Naturschutz und Ökologie

Der Mensch ist überall ein Störfaktor

Zerstörung der Erde durch den Menschen

Sonnenenergie ist unbegrenzt und kostet nichts

Erneuerbare Energien

Die Zeit ist für die Wissenschaft gekommen, sich mit der Erde selbst zu beschäftigen

Umweltethik

Global denken, lokal handeln

Die Umweltbewegung

Die Konsequenzen der Handlungen von heute auf die Welt von morgen

Programm »Der Mensch und die Biosphäre«

Vorhersagen zur Größe einer Population und zum Risiko ihres Aussterbens

Populationsgefährdungsanalyse

Klimawandel findet hier statt, er findet jetzt statt

Den Klimawandel aufhalten

Die Versorgung der Weltbevölkerung sollte sicher sein

Die »Sustainable Biosphere Initiative«

Wir spielen Würfel mit der natürlichen Umwelt

Die wirtschaftlichen Folgen des Klimawandels

Monokulturen und Monopole zerstören die Ernte

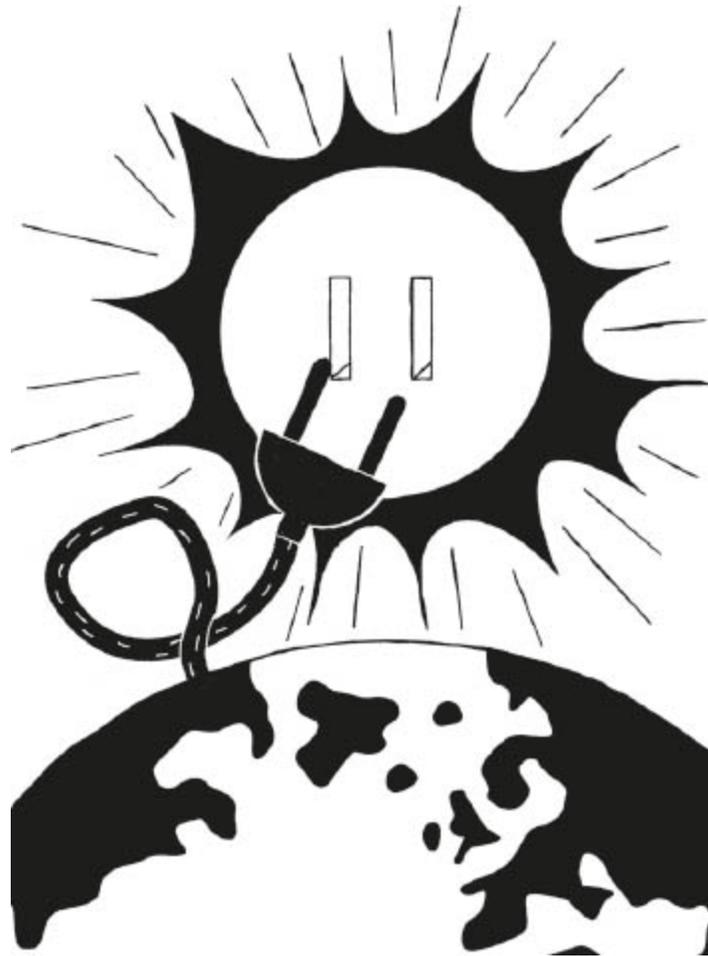
Saatgutdiversität

Natürliche Ökosysteme ermöglichen das menschliche Leben und bereichern es

Ökosystemdienstleistungen

Wir behandeln unseren Planeten so, als hätten wir einen zweiten, auf dem wir leben können

Müllentsorgung



ANHANG

WEITERE ÖKOLOGEN

GLOSSAR

ZITATNACHWEIS

DANK

VORWORT

Der Titel *Das Ökologie-Buch* wirft bereits vor dem Lesen der ersten Seite die Frage auf, wie man ein Thema, das ganze Bibliotheken füllt, auf 352 Seiten bringen soll. Das vorliegende Buch beweist: Es geht! Es geht sogar ganz hervorragend.

Ich freue mich, dass ich als Sprecherin des NABU-Bundesfachausschusses Umweltbildung und Kommunikation um ein Vorwort für dieses Buch gebeten wurde. Viele der im vorliegenden Buch präsentierten Konzepte und Themen finden sich in unserer Bildungsarbeit wieder. Umweltbildung gehört zum zentralen Engagement des NABU und ist ein verbindendes Element der inhaltlichen Arbeit aller Ebenen und Einrichtungen. Umweltbildung vereint Wissen, Werte und Handeln und ist dem Gedanken der Nachhaltigkeit verpflichtet. Im NABU steht Umweltbildung für die gesamte Breite der auf Naturschutz bezogenen Aktivitäten – vom Naturerleben bis hin zur Bearbeitung komplexer Phänomene wie dem Klimaschutz.

Das Ökologie-Buch hilft, diese komplexen Phänomene in ihren einzelnen Bausteinen zu verstehen, indem es wissenschaftliche Beobachtungen in alltagsnahe Zusammenhänge stellt. Diese Verbindung steigert nicht nur die Lesefreude, sondern eröffnet die Chance, wissenschaftliche Erkenntnisse zu politischen Fragestellungen zu machen. Dabei kommt *Das Ökologie-Buch* komplett ohne erhobenen Zeigefinger aus, sondern weckt als Sachbuch einfach die Faszination für natürliche Strukturen und Prozesse. Diese kommen erfrischend einfach und einleuchtend daher – auch dank wunderbarer Bilder und Grafiken, die jede Komplexität auf das Wesentliche reduzieren.

Das Ökologie-Buch traut sich an ein breites Wissensspektrum heran: von der Vererbungslehre über Verhaltenstheorien bis hin zu Ökosystemleistungen. Nach und nach fügen sich die einzelnen Kapitel wie die Teile eines Puzzles zu einem Gesamtbild zusammen. Natürlich kann hier nicht jedes Detail bis ins Kleinste erklärt werden, aber das ist auch nicht nötig. Vielmehr haben wir es mit einem Sachbuch zu tun, das viele Aha-Effekte hervorruft und Lust macht auf mehr.

Wer sich schon etwas länger in dem Themenfeld tummelt, wird einen Mix aus bekannten und neuen Fakten finden, ergänzt um Sachverhalte, die einem zwar mal bekannt waren, aber mit der Zeit wieder in Vergessenheit geraten sind. Es macht einfach Spaß, sich beim Schmökern zu erinnern, das eigene Wissen um neue Zusammenhänge zu erweitern und nachzuvollziehen, wie die unglaublichen natürlichen Systeme unserer Erde funktionieren. Vielen Forscherinnen und Forschern haben wir es zu verdanken, dass wir dieses Wissen heute haben und stetig erweitern können. So wird das Bild durch die begleitenden Kurzporträts großer Denker und eindrucksvolle Zitate erst vollständig.

Das Verstehen und die Faszination ökologischer Zusammenhänge ist Teil des lebenslangen Lernens, das Kinder, Jugendliche und Erwachsene einbezieht. Und so sehe ich *Das Ökologie-Buch* als Gewinn für alle Altersgruppen. Gerade die Stabilität und Anpassungsfähigkeit ökologischer Systeme werden es im Endeffekt sein, die über unsere Zukunft entscheiden. Deshalb sehen wir als NABU-Bundesausschuss die Umweltbildung als zentrales Element, um Chancen zur Übernahme ökologischer und sozialer Verantwortung zu eröffnen und Schlüssel für eine auch zukünftig lebenswerte Welt zu sein.

Ich wünsche allen eine spannende und aufschlussreiche Lektüre und natürlich viel Spaß beim Lesen!

Dr. Anke Valentin

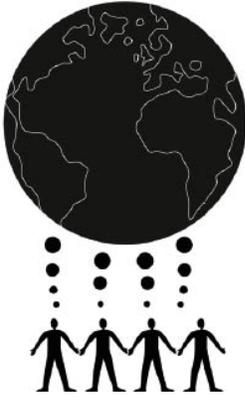
Bundesausschuss Umweltbildung des NABU

EINLEITUNG

Das Wissen über Ökologie – die Beziehungen zwischen Lebewesen – entschied über Leben und Tod der ersten Menschen. Ohne ein grundlegendes Verständnis, warum an einem Ort Tiere grasten und an einem anderen Früchte wuchsen, hätten unsere Vorfahren nicht überleben und sich entwickeln können.

Welche Wechselwirkungen zwischen Tieren und Pflanzen sowie ihnen und der unbelebten Welt stattfanden, interessierte schon die Griechen in der Antike. Im 4. Jahrhundert vor Christus untersuchten Aristoteles und sein Schüler Theophrastos den Stoffwechsel und die Wärmeregulierung bei Tieren, seziierten Vogeleier, um ihre Entwicklung zu erforschen, und beschrieben eine *Scala Naturae* (Leiter der Natur) mit elf Stufen. Dies war der erste Versuch, alle Lebewesen zu klassifizieren. Aristoteles erklärte auch, dass einige Tiere andere konsumieren: die erste Beschreibung einer Nahrungskette.

Im Mittelalter (476–1500) behinderte die katholische Kirche neue wissenschaftliche Ideen; das Verständnis der Ökologie schritt kaum voran. Doch ab dem 16. Jahrhundert wurden bei Seefahrten und durch technische Fortschritte, etwa die Erfindung des Mikroskops, erstaunliche Lebensformen entdeckt, der Wissensdurst stieg. Der schwedische Botaniker Carl von Linné entwickelte eine Klassifikation, das *Systema Naturae*. Dies war der erste wissenschaftliche Versuch, Arten zu benennen und ihrer Verwandtschaft nach zu ordnen. Damals herrschte im westlichen Denken der Essenzialismus vor: die Annahme, dass jede Art unveränderliche »essenzielle« Merkmale hat.



Große Durchbrüche

Geologische Entdeckungen im späten 17. und frühen 18. Jahrhundert stellten den Essenzialismus infrage. Geologen erkannten, dass einige Arten plötzlich verschwanden und durch andere ersetzt wurden; Lebewesen konnten sich also offenbar mit der Zeit verändern oder sogar aussterben.

»Es gibt etwa 4 Mio. verschiedene Arten von Tieren und Pflanzen in der Welt. 4 Mio. verschiedene Lösungen für das Problem, am Leben zu bleiben.«

David Attenborough

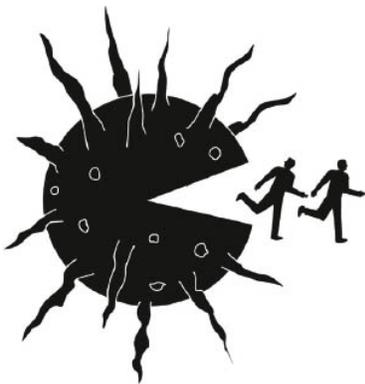
Life on Earth (TV-Serie), 1979

Der Franzose Jean-Baptiste de Lamarck entwickelte 1809 die erste konsistente Evolutionstheorie: die »Transmutation« der Arten durch die Vererbung erworbener Eigenschaften. Etwa 50 Jahre später brachten Charles Darwin und Alfred Russel Wallace das Konzept der Evolution durch natürliche Selektion auf, nach der sich die Lebewesen über Generationen hinweg so verändern, dass sie besser an ihre Umgebung angepasst sind. Darwin und Wallace verstanden die

zugrunde liegenden Mechanismen nicht. Doch die Experimente von Gregor Mendel mit Erbsen, die auf die Rolle von Erbfaktoren hindeuteten, die man heute als Gene kennt, stellten einen weiteren Riesenschritt der Evolutionstheorie dar.

Wechselbeziehungen

Die Beziehungen zwischen Arten und ihrer Umwelt sowie zwischen verschiedenen Arten dominierten die ökologische Forschung im frühen 20. Jahrhundert. Konzepte wie Nahrungsketten und Nahrungsnetze (wer in einem Lebensraum wen frisst) oder ökologische Nischen (die Rolle eines Lebewesens in seiner Umwelt) entstanden. 1935 führte Arthur Tansley das Konzept des Ökosystems ein: die Wechselbeziehungen zwischen Arten und der Umwelt, in der sie leben. Spätere Ökologen entwickelten mathematische Modelle der Populationsdynamik in Ökosystemen. Die Erkenntnis, dass die DNA eine bestimmte Struktur hat und Mutationen wie ein evolutionärer »Motor« wirken, brachte die Evolutionstheorie weiter voran.



Neue Grenzen

Die Technik eröffnet der Ökologie immer neue Möglichkeiten. Elektronenmikroskope liefern Bilder mit einer Auflösung eines halben Wasserstoffatoms. Computer analysieren Töne von Fledermäusen und Walen, die für das menschliche Ohr zu hoch bzw. zu tief sind. Kamerafallen und Infrarotdetektoren fotografieren und filmen

nachtaktive Tiere, und winzige Satellitenempfänger werden an Vögeln befestigt, um deren Wanderungen zu verfolgen.

Im Labor zeigen DNA-Analysen von Exkrementen, Haaren oder Federn, zu welcher Art ein Tier gehört und welche Beziehungen zwischen Lebewesen bestehen. So ist es für Ökologen sehr einfach, Daten zu sammeln, oft mithilfe vieler interessierter Laien (»Citizen Science«).

Einfluss auf das Klima

Anfangs lag der Ökologie vor allem Wissensdrang zugrunde. Später ging es darum, die Natur besser für menschliche Zwecke zu nutzen. Doch mit der Zeit wurden die Folgen der Ausbeutung immer deutlicher. Entwaldung wurde bereits im 18. Jahrhundert als ein Problem benannt, die Folgen der Wasser- und Luftverschmutzung waren in den Industrieländern im 19. Jahrhundert offenkundig. 1962 warnte Rachel Carson mit *Silent Spring* (dt.: *Der stumme Frühling*, 1965) die Welt vor den Gefahren von Pestiziden, sechs Jahre später zeigte Gene Likens eine Verbindung zwischen Kraftwerksemissionen, saurem Regen und Fischsterben.

1985 stellten Wissenschaftler fest, dass die Ozonkonzentration in der Atmosphäre über der Antarktis drastisch abnahm. Ein Zusammenhang zwischen Treibhausgasen und der Erwärmung der unteren Atmosphäre sah G. Evelyn Hutchinson schon 1947, aber erst Jahrzehnte später wurde akzeptiert, dass der Mensch das Klima beeinflusst.

Die Zukunft

Die moderne Ökologie hat sich seit ihren Anfängen als Wissenschaft enorm entwickelt. Heute vereint sie viele Disziplinen. Neben Zoologie und Botanik mit ihren Teildisziplinen sind Geologie, Geomorphologie, Klimatologie, Chemie, Physik, Genetik, Soziologie und andere Teil von ihr. Ökologie beeinflusst politische Entscheidungen über Stadtentwicklung, Verkehr, Industrie und Wirtschaft. Herausforderungen wie der Klimawandel, der Anstieg des

Meeresspiegels, die Zerstörung von Lebensräumen, die Verschmutzung durch Plastik und andere Stoffe sowie die drohende Wasserknappheit sind ernsthafte Risiken für die Menschheit. Sie erfordern radikales politisches Handeln auf solider wissenschaftlicher Basis. Die Ökologie liefert Antworten. Es ist Aufgabe der Regierungen, sie umzusetzen. ■

»Selbst in den ausgedehnten und mysteriösen Weiten des Meeres werden wir an die fundamentale Wahrheit erinnert, dass nichts alleine lebt.«

Rachel Carson

Unveröffentlichte Notizen

DIE GESCHICHTE DER EVOLUTION

1785

James Hutton veröffentlicht die Theorie, dass die **Erde viel älter ist** als zuvor angenommen und dass sich die Erdkruste kontinuierlich verändert.

1813

Im *Essay on the Theory of the Earth* schreibt **Georges Cuvier**, dass Fossilien die Überreste **ausgestorbener Kreaturen** seien, die von periodischen »katastrophalen« Ereignissen ausgerottet wurden.

1831

Die *HMS Beagle* bricht zu einer Weltumsegelung auf; **Charles Darwin** ist der Naturforscher an Bord. Die auf der Fahrt gesammelten Informationen inspirieren ihn zu seiner Theorie der **Evolution durch natürliche Selektion**.

1809

Jean-Baptiste de Lamarck argumentiert in *Philosophie zoologique* (dt.: *Zoologische Philosophie*, 1809), dass Tiere bestimmte Merkmale erwerben, weil sie Körperteile benutzen oder nicht, und entsprechende **Mutationen** vererben.

1823

Die Amateur-Fossilsammlerin **Mary Anning** entdeckt das erste intakte Skelett eines **Plesiosaurus**.

1866

Gregor Mendel fasst in dem Artikel *Versuche über Pflanzen-Hybriden* die Ergebnisse von Zuchtexperimenten mit Erbsen zusammen. Damit legt er die Grundlage für die Wissenschaft der **Genetik**.

1976

The Selfish Gene (dt.: *Das egoistische Gen*, 1978) des Evolutionsbiologen **Richard Dawkins** bietet eine neue Sichtweise der Evolution, bei der die **Gene**, nicht die Arten oder Gruppen, zentral sind.

1859

Darwin arbeitet seine Evolutionstheorie in dem Buch **Über die Entstehung der Arten durch natürliche Züchtung** aus. Es ist sofort ausverkauft.

1953

In einer Kneipe in Cambridge (Großbritannien) erklären **Francis Crick** und **James Watson**, sie hätten die Struktur der **DNA** entdeckt.

2003

Das **Humangenomprojekt** kartiert erstmals das gesamte Erbmateriale des *Homo sapiens*.

Mythen, Religionen und Philosophien belegen die ewige Faszination, die von der Frage nach der Entstehung der Welt und dem Platz des Menschen in ihr ausgeht. Im Westen betrachtete das Christentum alle Lebewesen als Ergebnis einer perfekten Schöpfung. Gemäß der Leiter der Natur (*Scala Naturae*) konnte keine Art von einer Stufe auf eine andere wechseln. Diese Idee der unveränderlichen Arten heißt **Essenzialismus**.

Die Aufklärung im 18. Jahrhundert stellte die christlichen Überzeugungen infrage. So wies der Franzose Jean-Baptiste de Lamarck die biblische Vorstellung zurück, dass die Erde nur einige Jahrtausende alt sei. Er meinte, dass sich Organismen über

Jahrmillionen von einfachsten Formen zu komplexen entwickelt haben mussten; die »Transmutation« der Arten sei die Triebkraft des Wandels. Und dass Merkmale, die ein Tier in seiner Lebenszeit erwarb, an die nächsten Generationen weitergegeben würden: Giraffen hätten ihre Hälse gestreckt, um Blätter an höheren Ästen zu erreichen, und über viele Generationen immer wieder einen etwas längeren Hals vererbt.

Auch fossile Funde – von Pionieren der Geologie wie Georges Cuvier erforscht – mit ausgestorbenen Lebewesen, deren Merkmale denen heutiger ähneln, wiesen darauf hin, dass die Erde sehr alt sein müsse. Gleichzeitig beschrieben James Hutton und Charles Lyell, dass geologische Strukturen durch Vorgänge wie Erosion und Ablagerung erklärbar seien, die beständig auch heute noch wirken – diese Sicht heißt »Aktualismus« oder »Uniformitätsprinzip«. Da dies nur langsam geschieht, müsse es die Erde viel länger geben als vermutet.

Natürliche Selektion

1858 präsentierten Charles Darwin und Alfred Russel Wallace einen Text, der die Biologie für immer verändern sollte. Die Beobachtungen während seiner Reise auf der *HMS Beagle* (1831–1836), der Austausch mit anderen Forschern und die Schriften von Thomas Malthus führten Darwin zu der Einsicht, dass Evolution durch »natürliche Selektion« vor sich gehe. 20 Jahre lang sammelte er Daten, bis er erkannte, dass es an der Zeit war, diese Ideen zu veröffentlichen. Sein Buch *On the Origin of Species by Means of Natural Selection* (erste deutsche Ausgabe: *Über die Entstehung der Arten durch natürliche Züchtung*, 1860) löste Empörung aus.

Die Idee der Evolution war bald breit akzeptiert, doch wie die Selektion ablief, blieb unklar. 1866 lieferte der mährisch-österreichische Mönch Gregor Mendel wichtige Erkenntnisse hierzu, nachdem er seine Zuchtversuche mit Erbsen ausgewertet hatte. Er zeigte, wie dominante und rezessive Merkmale durch unsichtbare »Erbfaktoren«, die Gene, vererbt werden.

Als Mendels Ergebnisse im Jahr 1900 wiederentdeckt wurden, setzten rege Debatten ein. Man hatte angenommen, dass Evolution auf der Auswahl kleiner, sich vermischender Variationen beruht, doch bei Mendels Versuchen vermischte sich offenbar nichts. Drei Jahrzehnte später argumentierten der Genetiker Ronald Fisher und andere, dass die beiden Denkschulen sich ergänzen und nicht widersprechen würden. 1942 beschrieb Julian Huxley die Synthese zwischen Mendels Genetik und Darwins Evolution in seinem Buch *Evolution: The Modern Synthesis*.

Die Doppelhelix

Technische Fortschritte wie die Röntgenkristallografie führten in den 1940er- und 1950er-Jahren zu weiteren Erkenntnissen und zu einer neuen Disziplin, der Molekularbiologie. 1944 identifizierte der Chemiker Oswald Avery Desoxyribonukleinsäure (DNA) als Träger des Erbguts. Rosalind Franklin und Raymond Gosling fotografierten 1952 DNA-Stränge und im Folgejahr bestätigten James Watson und Francis Crick die Doppelhelixstruktur. Crick zeigte zudem, dass genetische Informationen in DNA-Molekülen codiert sind. Fehler, die beim Kopieren der DNA auftreten, sind Mutationen – das Rohmaterial der Evolution. Seit den 1980er-Jahren können Gene von Individuen und Arten kartiert und manipuliert werden. In den 1990er-Jahren bereitete die Kartierung des menschlichen Genoms den Weg für die medizinische Gentherapie.

Ökologen interessierte auch, ob Gene das Verhalten beeinflussen. 1964 erklärte William D. Hamilton altruistisches Verhalten mit genetischen Aspekten (»Verwandtenselektion«), in *The Selfish Gene* (dt.: *Das egoistische Gen*, 1978) ging Richard Dawkins 1976 sogar noch weiter. Ideen in der Evolutionsbiologie werden weiterhin Debatten auslösen, solange Ökologen Darwins Theorien fortentwickeln. ■

ZEIT IST UNERHEBLICH UND NIEMALS EINE SCHWIERIGKEIT FÜR DIE NATUR

FRÜHE THEORIEN DER EVOLUTION



IM KONTEXT

SCHLÜSSELFIGUREN

Comte de Buffon (1707–1788),

Jean-Baptiste de Lamarck (1744–1829)

FRÜHER

1735 Der Schwede Carl von Linné veröffentlicht *Systema Naturae*; die biologische Systematik hilft später, die Abstammung der Arten zu klären.

1751 In *Système de la nature* führt der französische Philosoph Pierre Louis Moreau de Maupertuis die Idee ein, dass Merkmale vererbbar sind.

SPÄTER

1831 Étienne Geoffroy Saint-Hilaire schreibt, dass plötzliche Umweltveränderungen neue Arten aus den existierenden entstehen lassen.

1844 In *Vestiges of the Natural History of Creation* meint der schottische Geologe Robert Chambers (anonym), dass sich einfache Lebewesen zu komplexeren entwickelt haben.

Vor dem 18. Jahrhundert herrschte die Vorstellung vor, dass Pflanzen- und Tierarten unveränderlich sind (»Essenzialismus«). Er wurde durch zwei Entwicklungen infrage gestellt: die Aufklärung, eine intellektuelle Bewegung von 1715 bis 1800, und die industrielle Revolution (1760–1840).

Die Aufklärung war vom wissenschaftlichen Fortschritt geprägt und davon, dass die religiösen Lehren verstärkt hinterfragt wurden, etwa die Schöpfung der Erde und aller Lebewesen in sieben Tagen. Im Zuge der industriellen Revolution wurden Kanäle, Bahngleise und Bergwerke gebaut, und so erreichte man Gesteinsschichten mit Tausenden von Fossilien, oft von Tier- und Pflanzenarten, die keiner jemals zuvor gesehen hatte. Demnach musste das Leben lange vor dem aus der Bibel berechneten Datum 4400 v. Chr. begonnen haben.

Anpassung bei Tieren

Im späten 18. Jahrhundert irritierte der Franzose George-Louis Leclerc, Comte de Buffon, kirchliche Autoritäten, indem er äußerte, die Erde sei viel älter, als die Bibel vermuten ließ. Sie sei aus geschmolzenem Material entstanden, das ein Komet aus der Sonne herausgeschlagen hatte und das 70 000 Jahre zum Abkühlen brauchte (was das Erdalter stark unterschätzte). Beim Abkühlen seien Arten entstanden und verschwunden und schließlich durch Vorfahren der heutigen Arten ersetzt worden. Er sah Ähnlichkeiten bei Löwen, Tigern und Katzen und schloss, dass 200 Arten von Vierbeinern aus nur 38 Vorfahren hervorgegangen seien. Zudem seien Änderungen der Körperform und -größe verwandter Arten eine Reaktion auf Umweltbedingungen.

Der Franzose Jean-Baptiste de Lamarck ging 1800 noch weiter.

»Die Natur ist das System von Gesetzen, das vom Schöpfer für die Existenz der Dinge und die Abfolge der Lebewesen eingerichtet wurde.«

Comte de Buffon

Histoire naturelle, générale et particulière, 1764

In einem Vortrag am Museum für Naturgeschichte in Paris argumentierte er, dass Merkmale, die ein Lebewesen zu Lebzeiten erwarb, an die Nachkommen vererbt werden können – und solche Veränderungen über mehrere Generationen hinweg die Anatomie eines Tieres radikal ändern könnten.

Lamarck entwickelte sein Konzept der Transmutation in mehreren Büchern. So sollte der Gebrauch bzw. Nichtgebrauch von Körperteilen dazu führen, dass diese stärker, schwächer, größer oder kleiner würden. So hatten die Vorfahren der Maulwürfe wohl gute Augen, aber über Generationen hinweg wurden sie schlechter, weil sie beim Graben nicht gebraucht werden. Ähnlich hätten Giraffen langsam längere Hälse entwickelt, um Blätter an hohen Bäumen zu erreichen.

Triebkräfte der Evolution

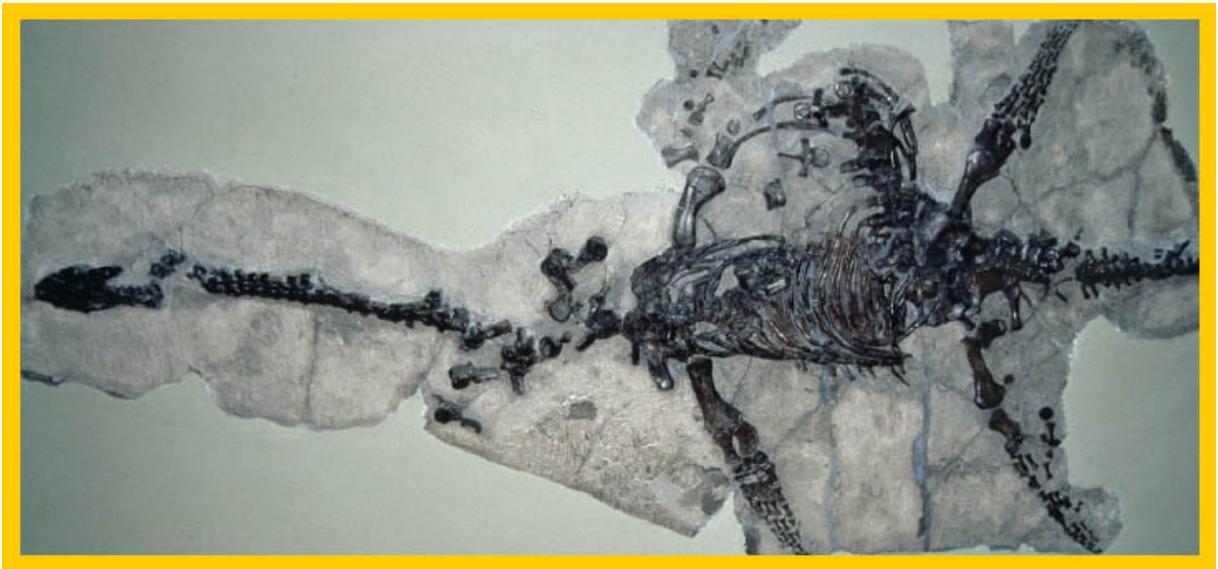
Lamarcks Konzept vererbter erworbener Merkmale war Teil einer größeren frühen Evolutionstheorie. Auch meinte er, die frühen einfachsten Lebensformen seien direkt aus unbelebter Materie entstanden. So formulierte Lamarck zwei Hauptkräfte des evolutionären Wandels: Zum einen würden Lebewesen von einfachen zu komplexeren Formen auf einer »Leiter« des Fortschritts aufsteigen. Zum anderen würde die Vererbung erworbener Merkmale helfen, sich besser an die Umwelt anzupassen. Als Darwin die Theorie der natürlichen Selektion entwickelte, verwarf er viele Konzepte des

Lamarckismus, aber beide Männer waren überzeugt, dass sich komplexe Lebewesen über enorme Zeiträume entwickeln. ■

»Bei jedem Tier ... stärkt der häufigere und bleibende Gebrauch eines Organs dasselbe allmählich, entwickelt und vergrößert es.«

Jean-Baptiste de Lamarck

»Erstes Gesetz«, *Zoologische Philosophie*, 1809 (dt.: 1876)



Fossilfunde veränderten die Vorstellungen vom Beginn des Lebens. Das erste gut erhaltene Plesiosaurierskelett (*Plesiosaurus dolichodeirus*) entdeckte 1823 Mary Anning in Dorset (England).