Eine chaotische Entwicklung



**UNSERE ERDE BETRACHTEN** 



#### Beteiliate:

Botanisches Konservatorium und Botanischer Garten der Stadt Genf; Yamama Naciri, Kuratorin; Romain Dewaele, wissenschaftlicher Mediator; Philippe Clerc, Kurator Naturhistorisches Museum der Stadt Genf: Nadir Alvarez, leitender Kurator SRG Westschweiz: Tania Chytil, Journalistin

Wissenschaftlicher Beirat: Professor Guillaume Lecointre, Nationales Naturhistorisches Museum Paris, Frankreich; Professorin Alicia Sanchez-Mazas, Universität Genf, Schweiz; Kostas Kampourakis, Lehrbeauftragter der Universität Genf, Schweiz; Patrick Charlier, Lehrperson, Bildungsdepartement des Kantons Genf, Schweiz.

Finanzierung: Bioscope (Universität Genf), SRG Westschweiz, Naturhistorisches Museum der Stadt Genf, Botanisches Konservatorium und Botanischer Garten der Stadt Genf Übersetzung: a-traduction.com

Dokument zum Herunterladen / Erscheinungsdatum: 2021

# Eine chaotische Entwicklung

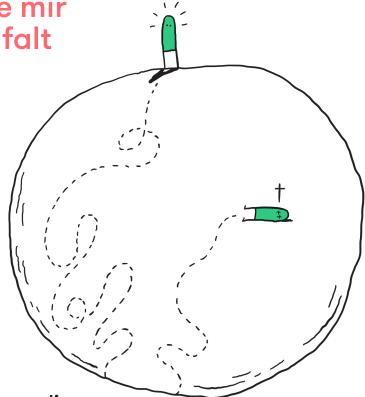
Kennen Sie den Antriebsstoff der Evolution? Dass der Zufall dabei eine wichtige Rolle spielt und dass es kein Ziel oder vorgegebenes Schicksal gibt? Dass die Vielfalt nicht nur aus dem Wettbewerb entstand, sondern auch aus Zusammenarbeit, gegenseitiger Hilfe und Verflechtung? Dass die lebenden Organismen sich gegenseitig unterstützen? Dass es keine «niederen» oder «höheren» Organismen gibt? Dass die heute Benachteiligten die Bevorzugten von morgen sein könnten, falls die Umwelt sich verändert?

Die vorliegende Broschüre betrachtet die Evolution im Licht der neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse, insbesondere im Bereich der Genetik. Wie Sie sehen werden, sind die Mechanismen der Evolution ziemlich einfach, doch daraus entstehen sehr unterschiedliche, manchmal hochkomplexe und überraschende Lebensformen.

Die Evolution zu verstehen, bedeutet, unsere Umwelt wertzuschätzen, die ungeheure Vielfalt der Biodiversität unserer Erde zu respektieren und zu schützen.

Sie waren schon immer neugierig? Oder eher überzeugt oder doch skeptisch? Wie auch immer, kommen Sie auf eine Entdeckungsreise mit. Wir beginnen mit einem Spiel. Zeichne mir die Vielfalt

1 PLAYER



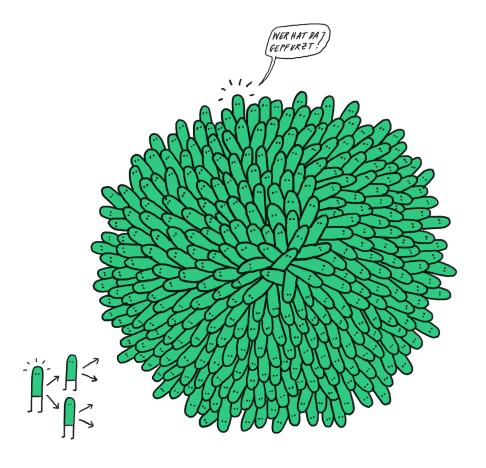
Lassen Sie uns die
Evolution des Lebens
auf einem imaginären
Exoplaneten namens
Glurb simulieren.
Ziel unseres Spiels ist
es, ein ähnliches Leben
wie auf der Erde zu
schaffen, mit vielen
unterschiedlichen Arten.
Sie werden sehen, dass
es nur wenige, einfache
Mechanismen braucht,
damit eine faszinierende
Vielfalt entsteht.

#### 1 Leben und Tod

Stellen wir uns zuerst ein Lebewesen auf Glurb vor. Es ist alleine, kann sich fortbewegen und fressen.

Es bewegt sich also, frisst, bewegt sich, frisst, bewegt sich. Langsam, aber sicher schädigt die Umwelt dieses Lebewesen. Es altert und stirbt ein Jahr später.

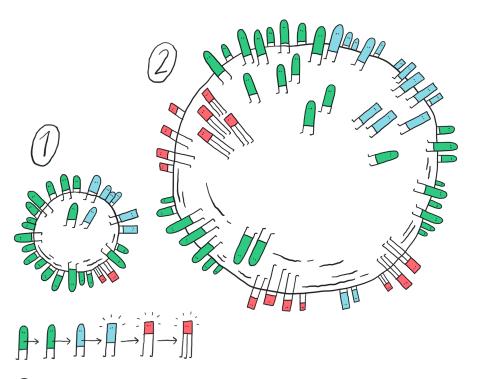
Diesem ersten Versuch war kein grosser Erfolg beschieden. Es gab zwar ein Lebewesen auf Glurb, aber nur während einer sehr kurzen Zeit. Wir müssen unser Szenario daher verbessern.



#### **2** Vermehrung und Weitergabe

Nehmen wir das Spiel noch einmal auf und statten wir das Lebewesen mit einer neuen Fähigkeit aus: es kann sich vermehren und seine Eigenschaften der nächsten Generation weitergeben. Nehmen wir an, dass es jeden Abend, sofern es noch lebt, sich verdoppeln kann, und einen Klon seiner selbst bildet. allerdings einen jüngeren. Für diese neue Simulation der Entwicklung auf Glurb beträgt die Lebenserwartung noch immer ein Jahr, aber die Vermehrungsrate beträgt 2 pro Tag. Am Tag 2 gibt es also 2 Lebewesen, am darauffolgenden Tag sind es 4; sodann 8, 16, 32, 64, 128! Innerhalb eines Monats gibt es bereits mehr als eine Milliarde von ihnen auf Glurb!

Wir wissen, dass sich auf der Erde keine Population so verhält. Unter anderem wegen der zur Verfügung stehenden Nahrung. Das Bevölkerungswachstum hängt ebenfalls vom Wettbewerb zwischen den Individuen ab. Wir können diese neuen Regeln in unserem Spiel einführen, um die Grösse der Bevölkerung zu regulieren. Doch auch so gibt es noch keine Vielfalt: die Bevölkerung besteht immer noch aus genau gleichen Individuen. Wir müssen unser Szenario also erneut anpassen.



#### 3 Variationen, Zufall und Gendrift

Wir müssen in unserer Simulation noch eine andere Regel einführen. Wenn unsere Individuen sich vermehren, gestehen wir eine kleine Chance zu, **Nachfahren, die sich etwas von ihnen unterscheiden,** herzustellen. Die Nachfahren sind somit nicht perfekte Klone ihrer Eltern.

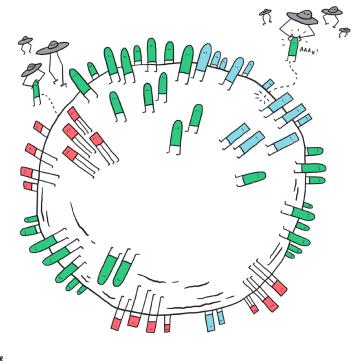
somit nicht perfekte Klone ihrer Eltern. Wir führen damit kleine Veränderungen von einer Generation zur nächsten ein. Beginnen wir neu mit der Simulation. Nach einigen Generationen identischer Klone taucht ein Individuum mit einer neuen Eigenschaft auf: einer anderen Farbe. Und dann einer mit einer neuen Form. Es entstehen Variationen, die sich durch eine einzigartige Kombination von Eigenschaften auszeichnen. Sie tauchen zufällig auf, können aber auch ziemlich schnell wieder verschwinden. Jetzt gibt es zwar Veränderungen, aber nur in einem geringen Ausmass. Tatsächlich ist Glurb nicht sehr gross und es gibt wenig

Ressourcen: daher bleibt die Bevölkerung auf Glurb klein.

Stellen wir uns einen grösseren Planeten namens Glurb 2 vor. Er verfügt über mehr Platz und Ressourcen. Dort taucht eine grössere Bevölkerung auf, die mehr Variationen aufweist. Rein zufällig hat jede Variante eine grössere Chance, bestehen zu bleiben.

Es ist unmöglich vorauszusagen, welche Farben und Formen am Ende am zahlreichsten auf Glurb und Glurb 2 sein werden, da ihre Anzahl sich zufällig entwickelt. Klar ist nur, dass im Durchschnitt die Bevölkerung auf Glurb 2 grössere Unterschiede und eine grössere Stabilität aufweisen wird, ganz einfach, weil Glurb 2 grösser ist.

Dieses Phänomen der zufälligen Veränderung der Zusammensetzung im Lauf der Zeit wird Gendrift genannt.





#### Natürliche Selektion: bestimmte zufällig erschienene Varianten werden bevorzugt

Auf Glurb 2 haben wir eine grosse Vielfalt an Lebensformen erhalten, so wie man sie auf der Erde beobachten kann. Das erklärt jedoch nicht, wieso manche Populationen so gut an ihre Umgebung angepasst zu sein scheinen. Handelt es sich um reinen Zufall?

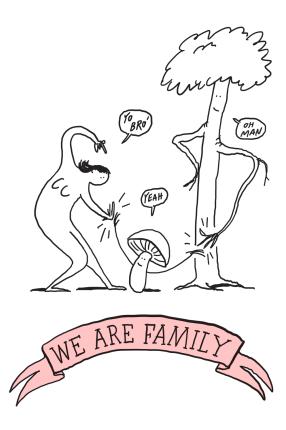
Bisher hing die Chance, zu überleben und sich zu vermehren, nicht davon ab, ob das Lebewesen rot oder grün, rechteckig oder dreieckig war. Viele dieser Varianten entwickelten sich rein zufällig im Lauf der Zeit. Jetzt führen wir Aliens ein, die regelmässig Beute machen auf unserem Planeten. Die Farbe Grün zieht sie sehr an, sie fressen Rot und Blau nur, wenn sie nichts Anderes finden.

Das Risiko für die grünen Varianten, werden weniger von den Aliens, ist also grösser und ihre Lebenserwartung dementsprechend geringer. Die roten oder blauen Individuen hingegen werden weniger von den Aliens gefressen und leben länger. Sie haben daher mehr Nachkommen als die grünen Individuen.

Es erfolgt eine Auswahl. Wenn wir von einer Bevölkerung mit unterschiedlichen Farben ausgehen, dann ist die Gefahr gross, dass die Farbe Grün innerhalb einiger Generationen wegen der räuberischen Aliens verschwindet. Die Mehrzahl der Individuen wird rot oder blau sein. Dieses Phänomen nennt man natürliche Auslese oder Selektion.



## Die Zutaten der Evolution

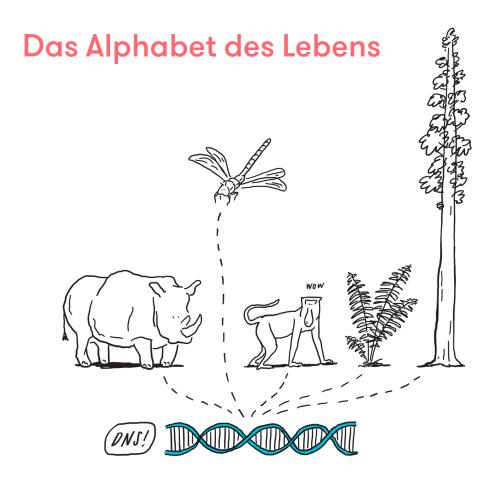


Die vorherigen Szenarien haben gezeigt, dass es nur wenige Regeln braucht, um die Entwicklung neuer Lebensformen auf einem Planeten, den wir uns vorgestellt haben, zu beobachten, und um zu einer sehr grossen Vielfalt wie hier, auf unserer Erde, zu gelangen. Tatsächlich braucht es:

- Mechanismen, die Änderungen schaffen (wir werden noch sehen, dass dies auf viele verschiedene Arten geschieht)
- Eine **Weitergabe** der neuen Merkmale von einer Generation zur nächsten,

Verschiedene Wechselwirkungen
 (zwischen Individuen der gleichen
 oder unterschiedlicher Arten und der
 Umwelt), die die Änderung bestimmen.
 Es handelt sich um die natürliche
 Auslese, die Gendrift, die Migration, den
 Wettbewerb, die Zusammenarbeit, dem
 Erbeuten, die Symbiose, usw.

Auf der Erde ist das Leben vor mindestens 3,5 Milliarden Jahren aufgetreten. Es gab viele Störungen und Umbrüche während dieser Zeit. Heute wissen wir, dass alle Lebewesen, die auf diesem Planeten leben, mehr oder weniger eng miteinander verwandt sind. Wir teilen Vorfahren mit den Bakterien, den Pflanzen, den Insekten und den Pilzen. Unglaublich, nicht wahr?



#### WAS IST EIN GENOM?

Das Genom ist in jeder Zelle von Lebewesen enthalten. Und zwar als **DNS** (**D**esoxyribo**N**uklein**S**äure). Die DNS ist in Form langer Moleküle organisiert, meistens als Chromosomen. Alle Lebewesen besitzen ein Genom: die Nashörner, die Mammutbäume, die Farne, die Libellen, die Bakterien, die Pilze und auch wir!

Diese DNS-Moleküle bilden mehr oder wenige lange Ketten, auch Sequenzen genannt, die aus **4 chemischen Buchstaben** bestehen: A = Adenin

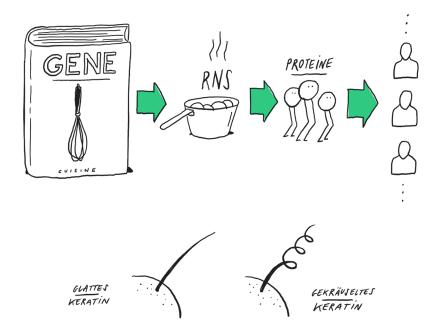
T = Thymin

G = Guanin

C = Cytosin

Obwohl dieses **Alphabet des Lebens** nur vier Buchstaben umfasst, sind die Kombinationen unendlich vielfältig. Diese liefern die «Küchenrezepte» (die Gene), um die Proteine (Eiweisse) herzustellen und die Zellen der Organismen zusammenzusetzen. Die Proteine treiben die Zell-Maschinerie an, sodass die Zelle leben und sich vermehren kann.

# Von den Genen zum Organismus



#### Die Gene entsprechen den «Kochrezepten», um die grossen Linien dessen, was wir sind, herzustellen.

All dies benötigt eine komplexe Maschinerie, insbesondere ein Molekül, das der DNS ähnelt und RNS heisst. Die RNS nimmt teil an der Herstellung der Proteine (auch Eiweisse genannt). Die Genexpression in Form von Proteinen und das Zusammenspiel zwischen den Zellen steuert das Wachstum und die Entwicklung der Organismen.

## Die Proteine stellen verschiedene Funktionen sicher. Zum Beispiel:

- Keratin ist ein Strukturprotein.
   Haare bestehen zu 95% daraus und verdanken ihm ihre Stärke.
- Hämoglobin ist ein Transportprotein.
   Es speichert den Sauerstoff in den roten
   Blutkörperchen und transportiert den
   Sauerstoff im Körperinneren.
- Vin3 ist ein Blüte-Regulationsprotein, das empfindlich auf die Aussentemperatur reagiert. Es löst das Blühen bestimmter Pflanzen nach dem Winter aus.

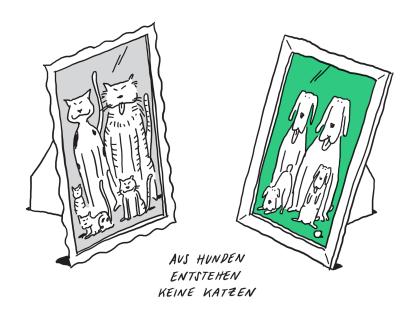
## Das Spiel des 2%igen Unterschieds



Die Genome des Schimpansen und des Menschen stimmen zu 98% überein. Die Unterschiede zwischen Schimpanse und Mensch erklären sich natürlich durch die restlichen 2%, aber auch durch den Moment, an dem die gemeinsamen Gene aufgerufen werden, ihre spezifischen Proteine herzustellen. Die Unterschiede sind auf die Weise, wie die Gene innerhalb der Zellen kontrolliert und geregelt werden, zurückzuführen. Wir kommen jetzt zurück zu den drei Hauptzutaten der Evolution.

## 1. Genetische Variation

#### Die verschiedenen Ebenen der Variationen



Die Variation der Eigenschaften und die verschiedenen Kombinationen erklären, warum jedes Individuum anders ist. Variationen erscheinen immer wieder auf allen Ebenen, durch Zufall. Im Lauf der Zeit und der Generationen erscheinen bestimmte Eigenschaften, werden weitergegeben, beibehalten oder verlieren sich wieder. Dies stimmt sowohl für die Moleküle wie für die Populationen oder die Zellen und Organismen.

So ist jede und jeder Einzelne von uns eine einmalige Mutante inmitten vieler Anderer.

Unsere DNS, unsere Darmflora, unser Austausch mit den Anderen und der Umwelt, unsere Kultur, unser Verhalten sind alles Faktoren, die uns einzigartig machen und die von einer Generation zur nächsten weitergegeben werden können.

Im Allgemeinen sind die meisten dieser Veränderungen nicht spürbar innerhalb unserer üblichen Zeitskala. Daher haben wir häufig den Eindruck, dass sich nichts ändert. Die Herausforderung besteht darin, zu erklären, wie unsere Augen eine gewisse Stabilität wahrnehmen, obwohl alles sich dauernd verändert.

# Die genetischen Variationen

Variationen / Weitergabe / Zusammenspiel



Woraus besteht eine genetische Variation? Sie kann verschiedene Formen annehmen, wie eine Mutation, eine Genduplizierung, eine Rekombination oder eine Transposition.

Die Mutation schafft Variationen innerhalb der DNS der Individuen. Nur die Mutationen der Zellen, die für die Vererbung zuständig sind, wie die Eizellen, die Spermatozoen, die Sporen oder der Pollen, könnten an die nächste Generation weitergegeben werden.

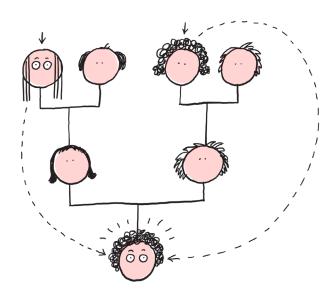
Die Mutation ist ein **Kopierfehler** in der Buchstabenabfolge bei der Zellvermehrung.

Ein solcher Fehler geschieht **sehr selten** und rein **zufällig**. In jeder Generation kann mit einer Mutation pro 100 Millionen Buchstaben gerechnet werden. Beim Menschen entspricht das mehreren Dutzend Mutationen pro Generation, da unser Genom aus 6,4 Milliarden Basen besteht.

Je nach dem Ort innerhalb der DNS, wo die Mutationen geschehen, wirken sie sich positiv, negativ oder neutral auf den Organismus aus. Letzteres ist meistens der Fall, vor allem, wenn die Mutationen ausserhalb der Zonen, die Proteine kodieren, erfolgen. Man spricht dann von stillen Mutationen, das heisst, dass sie keine messbaren Auswirkungen auf das Überleben des Organismus haben.

# Rekombination und Umordnung: die Karten werden neu gemischt

Variationen / Weitergabe / Zusammenspiel



Die genetische **Rekombination** sorgt ebenfalls für Variationen. Dieses Ereignis findet bei der Bildung der sexuellen Zellen, wie zum Beispiel den Eizellen, den Spermatozoen, den Sporen oder dem Pollen, statt.

Bei der Rekombination tauschen die Chromosomen, die von beiden Eltern stammen, DNS-Stücke aus. Daraus entsteht eine neue Kombination von Eigenschaften, die einzigartig für ein Individuum ist und die es vorher so noch nicht gab.

Manchmal wechseln auch ganze DNS-Stücke zu anderen Chromosomen. Dies nennt man eine chromosomale Neuordnung.

Ein solches Ereignis fand zum
Beispiel statt zwischen dem Genom
des Menschen und demjenigen des
Schimpansen. Die beiden Genome sind
zu 98% identisch. Das Chromosom
2 des Menschen entspricht zwei im
Schimpansen anwesenden Chromosomen.
Beim Menschen sind sie verschmolzen,
nachdem die menschliche Linie sich von
der des Schimpansen abgespalten hat.

# Genetische Duplikation und neue Funktionen

Variationen / Weitergabe / Zusammenspiel



Die **genetische Duplikation** ist ein zufälliger genetischer Mechanismus, der in dem Moment geschieht, in dem sich die Zellen vermehren und die DNS sich aufteilt. Die genetische Duplikation ist ein **Rekombinationsfehler**: ein Stück DNS findet sich in doppelter Form in neuen Zellen wieder.

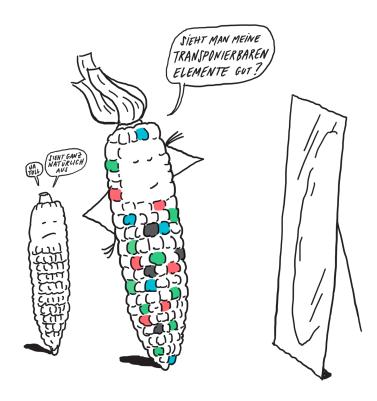
Falls diese Duplikation ein Gen betrifft, kann das kopierte Gen durch den Zufall und die natürliche Selektion eine neue Funktion erwerben.

Es ist wahrscheinlich dieser genetische Mechanismus, der es den Käfern Polyphaga, die sich vor allem vegetarisch ernähren, erlaubte, die vielfältigste Insektengruppe zu werden, mit 350'000 Arten. Dies entspricht rund einem Drittel aller heute bekannten Insektenarten! Genauer gesagt, hat die Duplikation bestimmter Gene, die für Verdauung und Entgiftung zuständig sind, den Polyphaga erlaubt, sich an die riesige Vielfalt der chemischen Verbindungen ihrer Nährpflanzen anzupassen.

Zu beachten ist, dass die genetische Duplikation das **ganze Genom** betreffen kann. Man spricht dann von **Polyploidisierung**.

# **Transposition**

Variationen / Weitergabe / Zusammenspiel



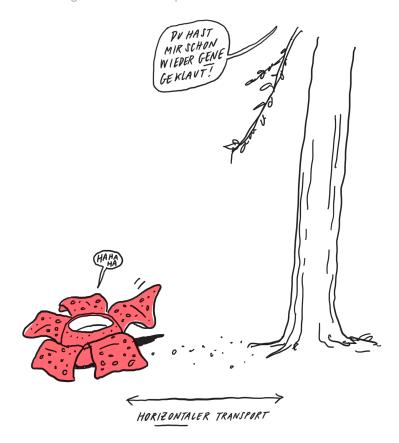
Das Genom ist mobil. Es verändert sich von einer Generation zur nächsten, aber auch während des Lebens eines Lebewesens. Dieser Wandel erfolgt über verschiedene Verfahren, wie der Transposition und dem Einfügen fremder DNS eines anderen Lebewesens.

Die transponierbaren Elemente sind kleine DNS-Sequenzen, die mit Hausbesetzern verglichen werden können. Sie haben das Potenzial, sich zu vermehren und sich zufällig innerhalb des gesamten Genoms zu bewegen, zu jedem Moment des Lebens eines Organismus. Meisten lösen die transponierbaren Elemente aber keine sichtbaren Veränderungen aus. Sie können allerdings die Art, wie die Gene ausgedrückt werden, beeinflussen, das heisst die Wirksamkeit der Proteinherstellung. Heute weiss man, dass 45% des menschlichen Genoms und 70% des Maisgenoms aus transponierbaren Elementen bestehen.

So sind **zum Beispiel die Farbvariationen** der Maiskörner auf einem Maiskolben auf transponierbare Elemente zurückzuführen. Ihre Bewegungen innerhalb des Genoms verändern die Farbe der Maiskörner.

# Einfügen fremder DNS

Variationen / Weitergabe / Zusammenspiel



Manchmal nehmen Organismen **DNS-Stücke anderer Arten** auf. Bei den Bakterien geschieht dies häufig, aber das Phänomen kann auch bei Pflanzen und Tieren beobachtet werden.

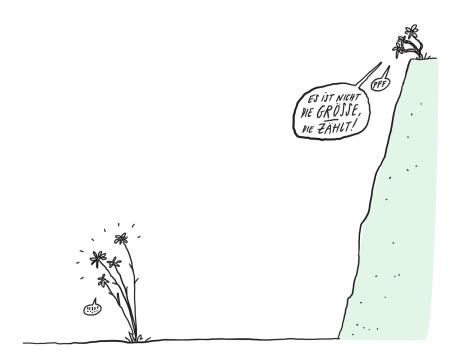
Dank der neuen DNS-Sequenzierungs-Techniken weiss man, dass dieses Einfügen viel häufiger geschieht als man bisher annahm. So findet man im menschlichen Genom und in dem anderer Organismen zum Beispiel Spuren zahlreicher Viren aus der Vergangenheit. Ein kleiner Teil unseres Genoms besteht aus DNS, die von Viren abstammt.

#### Der Parasitismus könnte diese Übertragungen vereinfachen,

wie im Fall der Rafflesia, einer Schmarotzerpflanze, die einen tropischen Baum befällt. Sie hat sich ungefähr 2 Prozent seiner Gene ausgeliehen.

# Die epigenetische Regulierung: Erworbenes, das anhält!

Variationen / Weitergabe / Zusammenspiel



Die Variationen zwischen den Individuen können nicht nur durch genetische Veränderungen erklärt werden. Bestimmte Veränderungen, die als **epigenetisch** bezeichnet werden, sind durch die **Umwelt** beeinflusst.

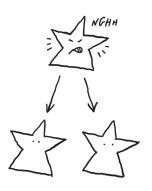
Diese Veränderungen sind auf Moleküle zurückzuführen, die sich auf der DNS andocken, ohne jedoch die Gensequenz zu verändern. Sie können allerdings die Verwendung eines Gens regulieren. Diese Moleküle können ihren Standort im Genom unter dem Einfluss der Umwelt verändern.

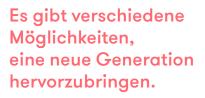
Die epigenetische Variation erlaubt es den Individuen, sich sehr schnell an ihre Umwelt anzupassen. Zudem ist diese Variation **übertragbar**, zumindest über einige Generationen.

Hier ist anzumerken, dass die Gene nicht ständig Proteine herstellen, ganz im Gegenteil. Obwohl jede Zelle eines Organismus Proteine enthält, wird jedes Gen nur in bestimmten Zellen benutzt, oder zu einem bestimmten Zeitpunkt der Entwicklung oder im Zusammenspiel mit der Umgebung. Die Verwendung ist teilweise auf die Epigenetik zurückzuführen.

# 2. Übertragung

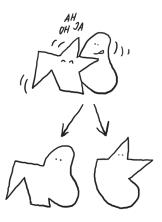
Die Weitergabe geschieht unter anderem durch die Vermehrung.





#### **KLONEN**

Einige Organismen vermehren sich nicht sexuell, sondern über das Klonen. Jedes Individuum vermehrt sich alleine, indem es ein oder mehrere **Kopien** seiner selbst schafft, die ihm ausser ein paar Mutationen gleichen, wie wir es bereits auf Glurb gesehen haben. Diese ungeschlechtliche Fortpflanzung war die einzige Fortpflanzungsart während der ersten Milliarden Jahre nach der Entstehung des Lebens auf der Erde.



#### DAS GESCHLECHT

Die geschlechtliche Fortpflanzung ist zum ersten Mal vor ungefähr einer Milliarde Jahre aufgetreten. Es benötigt dann zwei Organismen, um einen neuen zu schaffen. Doch Vorsicht: das neue Individuum unterscheidet sich genetisch von seinen Eltern. Tatsächlich vermischt die geschlechtliche Fortpflanzung die Gene der beiden elterlichen Linien, woraus neue, einzigartige Kombinationen entstehen. Darin liegt die Stärke der Sexualität gegenüber dem Klonen: Sie schafft Neues.

Hier ist anzumerken, dass bei gewissen Pflanzen- und Tierarten das Auftreten des Geschlechts vom Auftreten sexueller Chromosomen, die das weibliche oder männliche Geschlecht der jeweiligen Individuen bestimmen, begleitet wird. Bei anderen Tieren hingegen, wie zum Beispiel den Schildkröten oder Pflanzen wie den Schachtelhalmen, bestimmt die Umwelt das Geschlecht: die Temperatur bei den Schildkröten und das Licht bei den Schachtelhalmen.

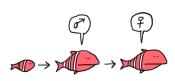
# Geschlechtliches: eine unendliche Vielfalt

Variationen / Weitergabe / Zusammenspiel





Die ungeschlechtliche Fortpflanzung ist mit dem Ursprung des Lebens verknüpft, und noch heute vermehren sich viele Organismen auf diese Art. Sie ist nicht nur den einfachen Organismen vorbehalten. Zahlreiche Pflanzen und Tiere nutzen diese Fortpflanzungsart dank unbefruchteter Eizellen. Bei den Pflanzen spricht man dann von apomiktischer Fortpflanzung: dies ist der Fall bei der Banane oder dem Löwenzahn. Bei den Tieren spricht man dann von Parthenogenese: so entstehen die männlichen Bienen. Diese Fortpflanzungsart findet sich auch bei bestimmten Wirbeltieren, wie Fischen, Amphibien (Lurche) und Reptilien (Kriechtiere).



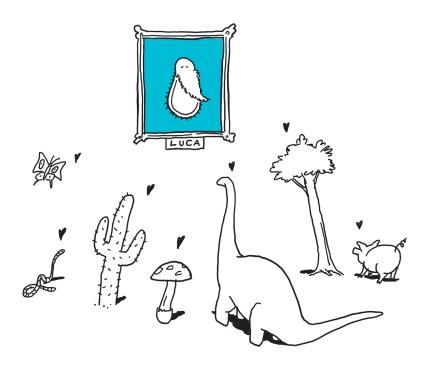


#### Bei den Organismen, die sich geschlechtlich fortpflanzen, gibt es viele Spielarten. Zum Beispiel:

- Die Clownfische sind zuerst m\u00e4nnlich, bevor sie im Lauf ihres Lebens zu Weibchen werden. Gleiches gilt f\u00fcr die Austern.
- Die Schnecken sind zugleich weiblich und männlich, so genannte «Hermaphroditen» oder Zwitter. Sie brauchen allerdings einen Partner, um sich fortpflanzen zu können.
- Weizen ist auch hermaphroditisch, kann sich aber auch selbst befruchten.
- Weiden sind entweder m\u00e4nnlich oder weiblich (auch als zweih\u00e4usig bezeichnet).

# Der Ursprung des Lebens

Variationen / Weitergabe / Zusammenspiel



Es ist nicht bekannt, wie oft das Leben auf der Erde aufgetreten ist, aber heute weiss man, dass alle Lebewesen auf unserem Planeten von einem einzigen gemeinsamen Vorfahren abstammen, der «LUCA» genannt wird für Last Universal Commun Ancestor (letzter allgemeiner gemeinsamer Vorfahr).

Heute glaubt man, dass **LUCA** aus RNS bestand, einem Molekül, das der DNS ähnelt, oder aus etwas Ähnlichem, das heute verschwunden ist. Diese RNS war in einer Hülle kleiner Fettmoleküle eingebettet. Diese Kügelchen ermöglichten eine Trennung zwischen Aussen und Innen.

Das Studium der Beziehungen zwischen den heute bekannten Organismen hat ergeben, dass **LUCA wahrscheinlich** 

#### einer primitiven Bakterie ähnelte,

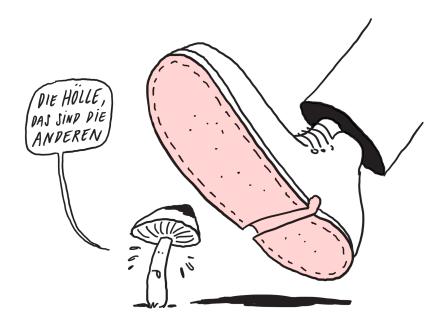
oder einer Population solcher Bakterien. **LUCA** entstand wahrscheinlich in den Thermalquellen am Meeresboden. Er hat wohl Wasserstoff, Kohlendioxid und Eisen benutzt, um seine Energie zu produzieren und sich zu ernähren. Eine solche Umgebung erhält kein Sonnenlicht. Das Leben konnte also ohne diese Energiequelle entstehen.

Übrigens: Enceladus, ein Satellit des Saturns, besitzt ein Meer flüssigen Wassers unterhalb einer Eiskruste! Seit kurzem weiss man sogar, dass sich darin Thermalquellen befinden.

Und die Exoplaneten? Diese Planeten, die andere Sterne als den unsrigen umkreisen, halten vielleicht noch einige Überraschungen für uns parat.

# 3. Zusammenspiel

Somit ist klar: Variationen gibt es überall, von den Molekülen bis zu den Organismen. Falls die Variationen weitergegeben werden, sind sie verschiedenen Wechselwirkungen ausgesetzt, die die Organisation, den Bestand und das Verschwinden der Variationen bestimmen.



Die **natürliche Selektion**, die **Gendrift** und die **Migration** sind zurückzuführen auf alle bestehenden **Wechselwirkungen** 

zwischen den verschiedenen Organismen, sowie zwischen den Organismen und ihrer Umgebung.

# Die natürliche Selektion: der Stärkere siegt nicht unbedingt

Variationen / Weitergabe / Zusammenspiel



Die Botschaft von Charles Dickens über die natürliche Selektion wurde häufig missverstanden. Für viele Menschen bevorzugt die natürliche Selektion selbstverständlich den Stärksten. Aber das stimmt nicht. Es gibt viele andere Arten, mehr Nachkommen in der nächsten Generation zu hinterlassen als der Stärkste zu sein. Zum Beispiel, indem man zusammenarbeitet.

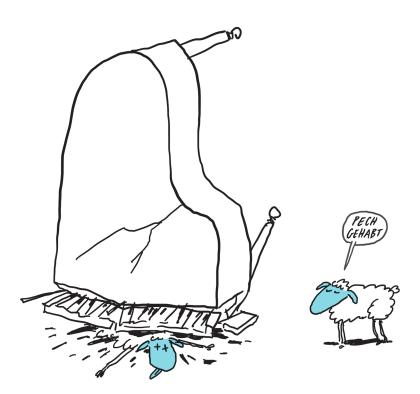
Die Organismen mit den besten Überlebens- und Fortpflanzungschancen werden der nächsten Generation ihre Merkmale weitergeben. Doch kann ein Organismus zu einem Zeitpunkt und in einer bestimmten Umgebung gut angepasst, zu einem anderen Zeitpunkt oder in einer anderen Umgebung jedoch völlig unangepasst sein.

Die natürliche Selektion verändert nicht die Gene an sich, sondern den Anteil der verschiedenen Varianten innerhalb der Populationen. Im Lauf der Generationen wird die Selektion allmählich den Anteil Varianten verringern, die für ihre Träger nachteilig sind und somit den Anteil der anderen erhöhen, einfach, weil Erstere weniger Möglichkeiten zur Fortpflanzung haben als Letztere. Es ist zu bemerken, dass die künstliche Selektion durch den Menschen, insbesondere, um Tierrassen oder Pflanzensorten herzustellen, die den menschlichen Bedürfnissen entsprechen, auf dem gleichen Prinzip beruht.

Eidechse Podarcis sicula auf einer Insel in der Adria. 1971 wurden fünf Eidechsenpaare durch Forschende auf einer Adriainsel eingeführt. Innerhalb von rund 30 Generationen und 33 Jahre später sind wichtige Änderungen bei den Nachkommen dieser fünf Paare festzustellen: Übergang zu einer pflanzenfressenden Ernährungsweise und Symbiose mit Mikroorganismen, die das Verdauen von Zellulose erleichtern, sowie kürzere Pfoten und einen höheren und stärkeren Kopf.

# Gendrift: der Einfluss des Zufalls

Variationen / Weitergabe / Zusammenspiel



**Gendrift** ist der Einfluss des Zufalls auf die Zusammensetzung der Populationen, oder genauer gesagt auf die Häufigkeit des Auftretens bestimmter Varianten.

Je kleiner die Bevölkerung ist, desto grösser und schneller wirkt sich die Gendrift aus. Falls ein Individuum aus einer Bevölkerung von 10 Individuen durch einen Unfall stirbt, bevor es sich fortgepflanzt hat, verschwindet mit ihm ein Zehntel der gesamten genetischen Vielfalt dieser Bevölkerung. Falls das Individuum zu einer Bevölkerung von 1000 Individuen gehört, geht nur ein Tausendstel der Vielfalt verloren! Die Gendrift kann auch die natürliche Selektion vereiteln, sodass bestimmte Genvarianten in einer Population überdauern, selbst wenn sie unvorteilhaft sind. Genauso können vorteilhafte Varianten verschwinden.

# Ist Alles tatsächlich perfekt angepasst?

Variationen / Weitergabe / Zusammenspiel



Falls ein Individuum zu einem bestimmten Zeitpunkt gut angepasst ist, bedeutet das noch nicht, dass dies noch der Fall ist, wenn sich die Umgebung ändert. Die am wenigsten an die Umgebung angepassten Individuen werden durch die natürliche Selektion beseitigt, aber das heisst nicht, dass die Übriggebliebenen perfekt angepasst sind.

#### Nehmen wir das Beispiel der Zuckeraufnahme beim Menschen.

Während Jahrtausenden war es schwierig, Zucker zu finden. Es war also von Vorteil, über einen Stoffwechsel zu verfügen, der Zucker schnell verwertet. Heute findet man überall Zucker. Die Fähigkeit, Zucker zu verwerten, ist zum Nachteil geworden. Fettleibigkeit und Diabetes sind zur Volkskrankheit geworden. Ein früherer Vorteil ist zum Nachteil geworden.

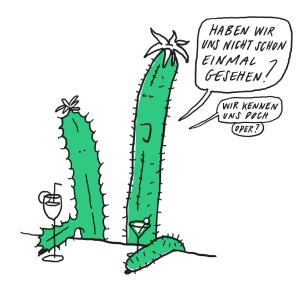
Und wie wir es bereits gesehen haben, kann die Gendrift manchmal die natürliche Selektion vereiteln. Dies geschieht vor allem, wenn Individuen nicht sehr zahlreich in einer Population vertreten sind. So können weniger gut angepasste Individuen durch reinen Zufall überleben.

Eine sich ändernde Umgebung und der Zufall erklären teilweise, warum nicht alle Organismen perfekt an ihre Umgebung angepasst sind. Ganz nebenbei: die optimale Lösung hat es vielleicht nie gegeben!



# Ähnlich, aber doch anders: Konvergenzen bei der Evolution

Variationen / Weitergabe / Zusammenspiel



Die natürliche Selektion bringt manchmal ähnliche Formen bei sehr unterschiedlichen Organismen hervor. So können manche Arten sich ähneln, ohne dass sie verwandt sind. Es handelt sich um eine Konvergenz. Sie entsteht, wenn ähnliche Umweltzwänge auf verschiedene Organismen einwirken.

So sind zum Beispiel **Kakteen** und **Wolfsmilchgewächse** Pflanzengruppen mit einer unterschiedlichen Evolutionsgeschichte, die sich aber morphologisch sehr ähneln.

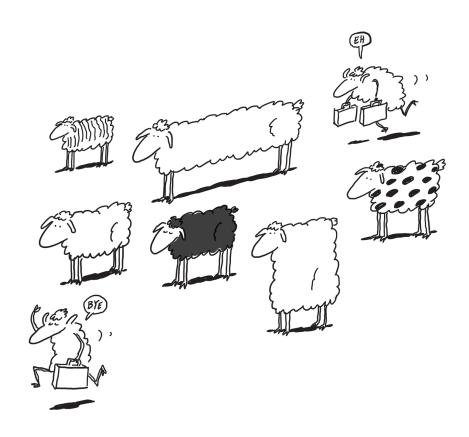
In beiden Gruppen gibt es Arten, die wie dornige Kerzen aussehen. Doch ihre Verteilung unterscheidet sich: Kakteen finden sich fast nur in beiden Amerikas, während die Kerzenwolfsmilchgewächse vor allem in Afrika beheimatet sind.

Die Linien der beiden Gruppen haben sich vor mehr als 100 Millionen Jahren getrennt, noch lange vor dem Verschwinden der Dinosaurier!

Es gibt zahlreiche Beispiele einer evolutiven Konvergenz. Man denke an die Vögel, wie zum Beispiel die Kondore in den Anden und die Gänsegeier, deren Entwicklung vor 80 Millionen Jahren auseinanderlief. Bei den Säugetieren haben sich die Linien der Beutelmäuse und der Soricidae (umfasst die meisten Spitzmausarten) vor 180 Millionen Jahren aufgesplittet. Die Beutelwölfe (auch Tasmanische Wölfe genannt) und die hundeartigen Tiere (Familie des Wolfs, des Fuchses oder des Wüstenfuchses) haben sich zum gleichen Zeitraum voneinander getrennt. Bei den Insekten haben sich die Linien der Steirischen Fanghaften (eine Art Netzflügler) und der Gottesanbeterinnen vor 360 Millionen Jahren getrennt.

# Migration oder die Veränderung von Populationen

Variationen / Weitergabe / Zusammenspiel



Migration entsteht durch Individuen, Samen oder Pollen, die sich selbst bewegen oder verlagert werden.

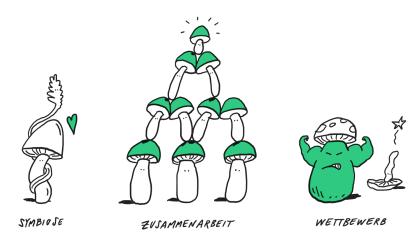
Pflanzensamen oder Pollen werden durch den Wind, Wasser oder durch Tiere verfrachtet. Doch die Migration stösst an Grenzen. Die Individuen müssen fähig sein, in ihrer neuen Umgebung zu überleben. Die Temperatur, die Feuchtigkeit und der Wettbewerb mit anderen Arten sind Beispiele von begrenzenden Faktoren.

Dank der Migration können neue Varianten dort entstehen, wo sich die Migranten niederlassen. Im Allgemeinen verändert sich dadurch die Häufigkeit der Varianten in den Populationen.

Zudem verringert die Migration die Unterschiede zwischen den Populationen und schafft zugleich grössere und vielfältigere Bevölkerungen. Und zudem eine potenziell grössere Widerstandskraft gegenüber Umweltveränderungen.

# Symbiose/Zusammenarbeit

Variationen / Weitergabe / Zusammenspiel



Häufig denkt man, dass Evolution das Überleben des «Stärkeren» bedeutet. Der Wettbewerb zwischen den Individuen der gleichen Art und zwischen verschiedenen Arten spielt zwar eine wichtige Rolle, doch gegenseitige Hilfe, Zusammenarbeit und Symbiose stellen ebenso wichtige Wechselwirkungen für die Diversifizierung und das Überleben der lebenden Organismen auf unserer Welt dar.

#### Innerhalb einer selben Art

Man spricht hier von **gegenseitiger Hilfe** und **Zusammenarbeit**, die es in vielerlei Weisen gibt, insbesondere bei den sogenannt sozialen Arten wie den Primaten, den Delphinen oder den Ameisen. Die Murmeltiere lösen sich zum Beispiel ab bei der Wache rund um ihre Erdhöhlen.

#### Zwischen den Arten

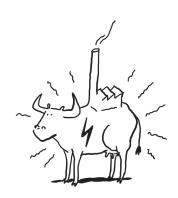
Die **Symbiose** bezeichnet im weitesten Sinn das **«dauerhafte Zusammenleben»** zweier oder mehr verschiedener Organismen. Man spricht von Gegenseitigkeit, wenn jeder der symbiotischen Organismen daraus ein Vorteil zieht. Die Flechten sind dafür ein

Paradebeispiel. Es handelt sich um Pilze, die ihre Nahrung durch die Symbiose mit mikroskopisch kleinen Grünalgen erhalten. Der Pilz bildet das «Haus» und schützt die Algen. Diese wiederum «bezahlen ihre Miete» an die Pilze als Zucker, die sie per Photosynthese, unter Verwendung von Sonnenenergie, Wasser und Kohlendioxid herstellen.

Heute stellt man fest, dass Symbiosen überall im Lebensbaum vorkommen. Die Organismen bauen im wahrsten Sinn des Wortes aufeinander auf. Die Kollektive und nicht die einzelnen Individuen entwickeln sich in der Evolution. So sind zum Beispiel die Mikroorganismen, die unseren Darm, unsere Haut und unsere Schleimhäute (Mikrobiota) besiedeln. so zahlreich wie die Gesamtheit unserer Körperzellen. Einige sind nur zeitweilig anwesend, während andere, spezifischere und für unser Überleben wesentliche Mikrobiota, uns während unserer ganzen Evolution begleitet haben. Wir bestehen aus mikrobiellen Ökosystemen – Holobionten - und das Gleiche stimmt für die Mehrheit der mehrzelligen Organismen auf unserer Erde.

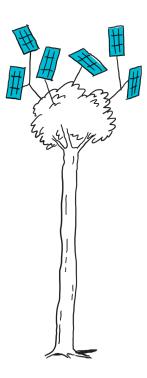
# Zwei revolutionäre Symbiosen

Variationen / Weitergabe / Zusammenspiel



#### Mitochondrien: Auftritt der Energiefabriken

Vor ungefähr zwei Milliarden Jahren wurde im Wasser eine Bakterie im Inneren einer Urwirtszelle eingefangen. Im Lauf der Evolution hat sich diese Bakterie in eine «kleine Fabrik» (Mitochondrium genannt) verwandelt, das sich darauf spezialisiert hat, Energie für die Wirtszelle herzustellen. Diese Symbiose hat zur grossen Gruppe der Eukaryonten geführt - zu der auch wir gehören. Fast alle Pflanzen, Pilze und Tiere verfügen heute, in jeder ihrer Zellen, über Mitochondrien, die sie mit Energie beliefern dank des eingeatmeten Sauerstoffs. Erst das Auftreten der Mitochondrien hat wahrscheinlich die Bildung komplexer Organismen, so wie wir sie heute kennen, ermöglicht.



## Chloroplasten: Auftritt der integrierten Sonnenkollektoren

Einige Hunderte von Millionen Jahren später, immer noch im Wasser, entstanden bei einem ähnlichen Ereignis Organismen, die am Ursprung aller Pflanzen stehen, die wir heute kennen. Eine Bakterie, die Sonnenenergie verwenden konnte, um Kohlendioxid aus der Luft und Wasser in Zucker umzuwandeln und dabei Sauerstoff auszustossen, wurde ebenfalls im Inneren einer eukaryotischen Zelle gefangen. Im Lauf der Evolution hat sich diese Bakterie in einen integrierten Sonnenkollektor verwandelt - die Chloroplasten. Diese erlauben eine Reaktionskette, die Photosynthese genannt wird. So sind heutzutage alle Pflanzen, Bäume, Gräser, Moose und Algen zur Photosynthese fähig und können so Zucker und zugleich Sauerstoff herstellen.

# Manchmal schwierig zu erkennen: Die Art

## Wie entstehen die Arten?



Die Artenbeschreibung erweist sich als sehr nützlich, um die Lebewesen zu benennen und einzuordnen; ein Pferd, eine Fliege, ein Edelweiss. Es ist aber schwierig, eine Definition der Art zu geben, die alle Organismen umfasst. Im Allgemeinen wird eine Art als eine Gesamtheit der Populationen, deren Individuen zu einem bestimmten Zeitpunkt fähig sind,

#### sich miteinander fortzupflanzen und eine fruchtbare und lebensfähige Nachkommenschaft zu erzeugen,

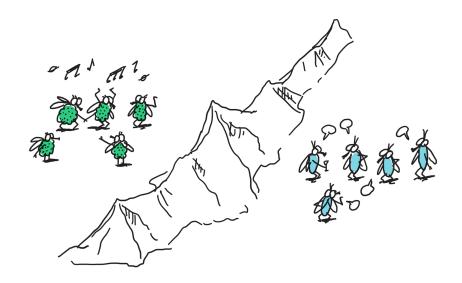
definiert. Doch bestimmte gut erkennbare Arten pflanzen sich fast nie geschlechtlich fort. Dabei handelt es um Löwenzahn, zahlreiche Flechten und einige Würmer und Insekten. Jedes Kriterium weist gewisse Beschränkungen auf und viele Arten sind schwierig zu erfassen.

Heute weiss man, dass die grosse Mehrheit der Pflanzenarten sich mit nahe verwandten Arten hybridisieren können. Sie nehmen so neue Varianten auf, die für zukünftige Anpassungen nützlich sein könnten.

Inzwischen ist erwiesen, dass dieses Phänomen auch bei den Tieren viel verbreiteter ist als bisher angenommen.

#### Beim Menschen zum Beispiel

bewahrt unser Genom von Homo sapiens Hybridisierungsspuren mit den Neanderthal-Menschen und den Denisova-Menschen, zwei vor 30' bis 40'000 Jahren ausgestorbene Arten, denen unsere Vorfahren in Eurasien begegnet sind.



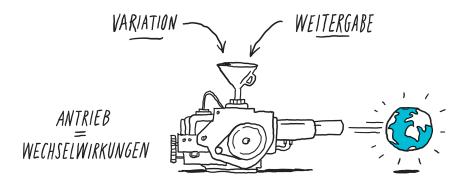
Stellen Sie sich die Population einer Art vor. Sie teilt sich in zwei Populationen auf, weil sich zwei Kontinente voneinander gelöst haben oder weil dazwischen eine Bergkette aufragt. Daher sind die beiden Populationen nicht miteinander in Kontakt und können sich nicht mehr miteinander fortpflanzen.

Jede der beiden Populationen wird sich unabhängig entwickeln mit Mutationen, die aufgrund der natürlichen Selektion und der Gendrift beibehalten werden oder wieder verschwinden. Falls die beiden Populationen lange genug voneinander getrennt bleiben, werden die Unterschiede so gross werden, dass sie sich nicht mehr kreuzen können, selbst wenn sie wieder aufeinandertreffen sollten. Wir werden ihnen also unterschiedliche Namen geben müssen. Dieses Phänomen kann auch am

gleichen Ort passieren, bei verschiedenen Verhaltensweisen oder Anpassungen.

Das passiert im Moment mit Rhagoletis pomonella, einer amerikanischen Fliege, deren Larven sich ausschliesslich auf amerikanischen Weissdornen entwickelten. Seit der Einführung europäischer Apfelarten in Nordamerika haben einige Varianten dieser Fliege dank Mutationen die Fähigkeit erlangt, sich auch auf europäischen Apfelbäumen zu vermehren. So haben sich allmählich seit einem Jahrhundert zwei Populationen herausgebildet. Da die Äpfel einen Monat früher als die Weissdornfrüchte reifen, hat sich der Entwicklungszeitraum dieser zwei Fliegenpopulationen verschoben. Sie treffen sich kaum noch und tauschen auch keine Gene mehr aus. Wir sind gerade Zeugen der Entstehung einer neuen Art.

## Was uns die Evolution lehrt



Der Ursprung der ganzen Vielfalt des Lebens, so wie es heute sehen, liegt in der Evolution. Nur ein winziger Teil dessen, was es einmal gab, hat bis heute überdauert, da die Arten geboren werden und verschwinden, wenn sie nicht mehr genügend an ihre Umgebung angepasst sind. Das geschieht andauernd und insbesondere in Zeiten von Massenaussterben.

Das jetzige Massenaussterben ist mit den Tätigkeiten unserer Art verbunden, aber sie folgt mindestens fünf anderen in den letzten 500 Millionen Jahren. Diese Massenaussterben wurden wahrscheinlich durch massive Vulkanausbrüche oder Meteoriten, die die Erde trafen, ausgelöst.

Die Evolution verläuft zum grössten Teil zufällig. Falls die gleichen Bedingungen heute herrschen würden wie vor 3,5 Milliarden Jahren, würde eine ganz andere Welt als die unsrige entstehen. Die Evolution beruht auf

einer Kombination der Zusammenarbeit zwischen einzelnen Individuen und symbiotischen Interaktionen zwischen einzelnen Arten, aber auch auf Wettbewerb, Parasitismus und Erbeuten.

Die Evolution ist weder moralisch noch vorhersehbar. Weder schön noch schrecklich. Sie führt nie zur Vollkommenheit und tendiert zu einer minimalen Anpassung der Lebewesen an ihre Umgebung. Sie nutzt alles Vorhandene aus und ähnelt manchmal einer Bastelei.

Es gibt keine mehr oder weniger entwickelten Organismen, sondern einfach mehr oder weniger gut an ihre Umgebung angepasste Organismen. Die Evolution fasziniert wegen der Vielfalt der entstandenen Formen.

Wir üben heute einen riesigen Einfluss auf die Biodiversität aus. Diese zu hegen und zu bewahren heisst uns selbst zu schützen. Und das brauchen wir alle sehr!

## **Zum Vertiefen**



**Der Ursprung der Arten** Charles Darwin. Klett-Cotta Verlag, Stuttgart (2018)



Evolution oder das Rätsel von allem, was lebt Floor Rieder, Jan Paul Schutten. Gerstenberg Verlag, Hildesheim (2014)



im Menschen Martin Lercher, Itai Yanai. Quadriga Verlag, Köln (2016)

Das geheime Leben



Leben: Verblüffende Erfindungen der Evolution Nick Lane. Primus Verlag Darmstadt (2013)



Arrival of the Fittest-Wie das Neue in die Welt kommt Andreas Wagner. S. Fischer Verlag, Frankfurt am Main (2015)



Der erweiterte Phänotyp. Der lange Arm der Gene Richard Dawkins. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg (2010)



Mehr Leben für die Natur-Auf den Spuren der Evolution und der Ökologie Josef H. Reichholf. S. Fischer Verlag, Frankfurt am Main (2015)

Die Herrscher der Welt.



Ever since Darwin: Reflection on Natural History Stephen Jay Gould. W W Norton & Co Inc (1992)



Wie die Mikroben unser Leben bestimmen Bernhard Kegel. DuMont Verlag, Köln (2015)

# Für die Liebhaber/innen von Videos



Darwins Dilemma - Das Geheimnis des Kambrischen Fossilberichts (Deutsch/German) - Bing video

www.bing.com/videos/search?q=stephen+jay+gould+und+darwin&docid=608040268274208369&mid=1266895E22DC50ED33731266895E22DC50ED3373&view=detail&FORM=VIRE





#### **PBS Eons**

www.youtube.com/channel/UCzR-rom 72PHN9Zg7RML9EbA





#### Primer

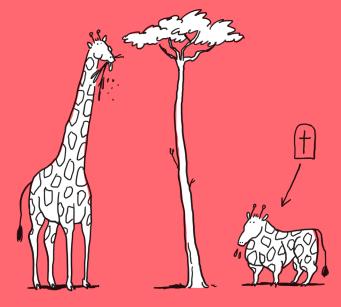
www.youtube.com/channel/UCKzJFdi57J53Vr\_BkTfN3uQ





Wissenschaftsmagazin - Audio & Podcasts - SRF www.srf.ch/audio/wissenschaftsmagazin





DAS GESETZ DES STÄRKEREN ...?

Impressum
Grafik und Zeichnungen: Atelier Poisson
Druck: Atar Roto Presse SA, FSC paper.

Die Evolution zu verstehen, bedeutet, unsere Umgebung zu verstehen, die aussergewöhnliche Artenvielfalt, die unsere Erde prägt, besser zu achten und zu schützen.

Die Evolutionstheorie gründet auf einer Reihe von Beobachtungen, wissenschaftlichen Experimenten, Grundsätzen, Modellen und Gesetzen. Die Evolutionstheorie vermag als Einzige, die Vielfalt des Lebens auf unserer Erde logisch zu erklären.













