

IN DIESEM KAPITEL

Die drei Säulen der Biodiversität: genetische Vielfalt, Artenvielfalt und Vielfalt der Lebensräume

Die Anwendung verschiedener Artbegriffe im Vergleich: morphologisch, biologisch oder doch ganz anders?

Die Evolutionstheorie im Überblick: wie Darwin und Co. die Welt erklären

Die Entwicklung des Lebens: vom unbekanntem Start in die Gegenwart

Kapitel 1

Biodiversität was?

Tatsächlich erinnere ich mich nicht mehr genau, wann die Leidenschaft für die Vielfalt des Lebendigen in mir erwachte. Mehr als ein konkretes Datum ist mir aber ein Gefühl in Erinnerung geblieben. Ein Gefühl aus Kindertagen, als wir Jungs nach der Schule (und den Hausaufgaben!) in ein nahe gelegenes Waldstück rannten und bis zum Sonnenuntergang aus den Augen der Erwachsenen verschwanden. Wir Kinder erlebten unsere Ausflüge in diese Holzplantage als Expeditionen in ein exotisches Land, das von uns entdeckt, erkundet, erforscht werden wollte. Wir glichen eher Abenteurern als echten Forscher, denn uns trieb die Neugier rasch von einem Phänomen zum nächsten. Zu meinem größten Glück ist mir diese Freude bis heute nicht nur erhalten geblieben, sondern ist vielleicht sogar noch größer geworden.

Nach dem Kauf dieses Buches sehen Sie sich bestimmt schon auf der Suche nach allem, was da krecht und fleucht, mit Kescher, Fernglas oder Lupe durch die Landschaft pirschen. Doch grau ist alle Praxis, wenn Sie Ihre Beobachtungen nicht richtig einordnen können. Deswegen gibt es hier für Sie vorab einen kleinen Crashkurs in Sachen Naturkunde.

Doch keine Angst: Hier folgt weder ein ökologisches noch ein systematisches Biologie-Lehrbuch, sondern eine hoffentlich spannende Zusammenfassung, was genau unter dem sperrigen Begriff Biodiversität zu verstehen ist und wie sich des Lebens wunderbare Fülle ein wenig ordnen lässt, damit uns Naturbeobachtende der Schädel vor all den Lebewesen nicht zu sehr brummt.

Sollten Sie doch lieber gleich auf die Wiese, in den Wald oder sonst wie raus wollen, dann bin ich der Allererste, der dafür Verständnis hat, wenn Sie jetzt gleich zu den Ausrüstungstipps in Kapitel 4 weiterblättern. Heben Sie sich die restlichen Kapitel gern für einen regnerischen Tag auf.

Die drei Säulen der Biodiversität

Laut einer Umfrage des deutschen Bundesamts für Naturschutz wissen viele der befragten Bürger nicht, was sich hinter dem sperrigen Begriff *Biodiversität* verbirgt. Wüssten Sie es – ohne vorn in diesem Kapitel zu spicken? Wenn Sie jetzt an so etwas wie Artenvielfalt gedacht haben, geht es Ihnen wie vielen Profis (beispielsweise Biologie-Lehrkräften wie mir), die allzu oft Biodiversität mit Artenvielfalt gleichsetzen. Doch diese Fokussierung auf die Vielzahl verschiedener Spezies greift viel zu kurz, denn biologische Vielfalt ist weit mehr als die bloße Summe aller Arten.



Biodiversität umfasst sowohl die genetische Vielfalt der Individuen einer Art als auch die Vielfalt der Arten und die Vielfalt der verschiedenen Ökosysteme, in denen die Lebewesen vorkommen könnten (siehe Abbildung 1.1).

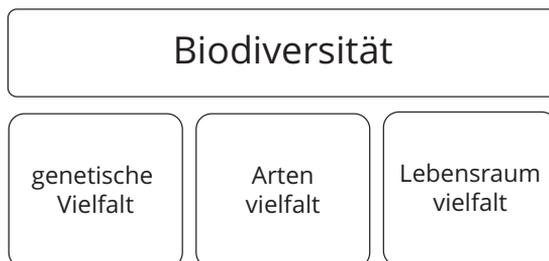


Abbildung 1.1: Die drei Säulen der Biodiversität

Die ungeheure Vielfalt des Lebendigen lässt sich also drei Bereichen zuordnen. Doch was versteht man darunter eigentlich genau?

Genetische Vielfalt: Warum kein Ei dem anderen gleicht

Sind Sie gerade unter Menschen? Dann blicken Sie sich doch einmal verstohlen um. Jede Menge andere Individuen aus der Art *Homo sapiens* und jede Person um Sie herum ist ein kleines bisschen anders. So wie kein Mensch dem anderen gleicht, unterscheiden sich auch Feuersalamander, Rot-Buchen, Steinpilze und Co. untereinander. Diese verschiedenen Erscheinungsformen innerhalb einer Art bezeichnet man als Variabilität. Sucht man nach der Ursache dieser Unterschiede, muss man tief ins gut geschützte Erbmateriale jedes einzelnen Individuums blicken und findet dort die erste Säule der Biodiversität: die *genetische Vielfalt*.



Genetische Vielfalt bezieht sich auf die Vielfalt der *Erbanlagen* (= *Gene*) innerhalb der Individuen einer Art oder in einem Ökosystem. Sie ist wichtig für die Anpassungsfähigkeit und die langfristige Überlebensfähigkeit von Arten und Ökosystemen.

Eine hohe genetische Vielfalt erhöht die Chance, dass bestimmte *Gene* in einer *Population* vorhanden sind, die diese vor möglichen Umweltbedrohungen in der Zukunft schützen können.



Die Individuen einer Art, die in einem bestimmten Gebiet zur gleichen Zeit vorkommen, bezeichnet man als *Population*.

Vielleicht hilft Ihnen folgendes Beispiel, um den Wert der genetischen Vielfalt besser einschätzen zu können.

Haben Sie schon einmal einen Feuersalamander gesehen? Die Chancen stehen bei uns in Deutschland gar nicht schlecht, denn ein Großteil aller Feuersalamander weltweit lebt in unseren Laubwäldern. Laut der Roten Liste für Amphibien ist Deutschland somit »in hohem Maße verantwortlich« für den Erhalt der Art.

Doch was bedroht die putzigen Amphibien eigentlich? Im dunklen Mittelalter rottete ein Aberglaube die Tiere fast aus. Wegen ihrer gelb-schwarzen Färbung glaubten Menschen, die Amphibien hätten Macht über das Feuer, und warfen sie deshalb bei Bränden massenweise in die Flammen. Im 20. Jahrhundert machte der Lebensraumverlust durch »aufgeräumte« Wälder und kanalisierte Laichgewässer den Tieren zu schaffen und heute bedroht die Lurche eine Pandemie.

Mit Terrarientieren aus Asien wurde der Chytridpilz *Batrachochytrium salamandrivorans* (Bsal) eingeschleppt. Aufgrund des zungenbrecherischen Namensungetüms und seiner katastrophalen Wirkung auf die Lurche setzte sich für diesen Pilz der zynische Spitzname »Salamanderfresser« durch, weil er die empfindliche Haut der Amphibien so stark schädigt, dass 90 Prozent aller Feuersalamander nach einer Infektion sterben. Seit 2015 breitet sich der Pilz in Deutschland aus und hinterlässt in den betroffenen Gebieten eine katastrophale Spur der Verwüstung. Forschende gehen davon aus, dass sich die verheerende Seuche in den nächsten Jahren weiter ausbreiten und einen Großteil der Salamander dahinraffen wird. Das ist nicht nur sehr traurig für die Tiere, sondern auch für uns Menschen, denn die Begegnung mit diesen schönen Tieren ist ein beeindruckendes Erlebnis. Doch es gibt einen Hoffnungsschimmer in der Feuersalamander-Pandemie und diese Hoffnung liegt in der genetischen Vielfalt der Tiere.

Feuersalamander unterscheiden sich nicht nur äußerlich in ihrer schwarz-gelben Mustering (siehe Abbildung 1.2), sondern auch in ihren inneren Werten. Einige Tiere überleben die »Salamanderpest«, weil sie zufälligerweise Gene in sich tragen, die sie resistent gegen eine Bsal-Infektion machen. Diese wenigen Feuersalamander sind in Gebieten mit dem Salamanderfresser-Pilz die Gewinner in der großen Darwin-Lotterie namens »natürliche Auslese« und bilden hoffentlich den Grundstock für eine neue, in Zukunft insgesamt resistente Population.



Abbildung 1.2: Kein Feuersalamander gleicht dem anderen.



Für alle, die mehr über die Lebensweise der Feuersalamander erfahren wollen, habe ich mich im Wald auf die Suche nach Lurchi und seinen Freunden gemacht. Herausgekommen ist ein Film, der sich hinter dem QR-Code versteckt (<https://www.youtube.com/watch?v=7HRaxzkjPGY>).



Auch wenn die Erholung der Bestände Jahrzehnte, vielleicht Jahrhunderte dauern wird, ist sie dennoch möglich und sogar wahrscheinlich. Die Voraussetzung dafür war eine große Ausgangspopulation an Feuersalamandern, von denen einige wenige resistent sind. Je mehr Individuen vorhanden sind, desto größer ist die Chance, dass eines davon in einer sich ändernden Umwelt jene Gene in sich trägt, die der Art das Überleben sichern. Deswegen

kommt es tatsächlich auf jedes einzelne Individuum aller Arten an, denn in ihm oder ihr schlummert vielleicht ein wertvoller genetischer Schatz an biologischer Vielfalt, den es zu erhalten gilt, um den noch unbekanntem Herausforderungen der Zukunft begegnen zu können.

Artenvielfalt: Des Lebens wunderbare Fülle

Haben Sie Lust auf eine illustre Teeegesellschaft, die so natürlich nur in unserer Fantasie stattfinden kann? Geladen wären die größten Naturforscher ihrer Zeit und wir dürfen Mäuschen spielen. Am Kopf der Tafel hält Alexander von Humboldt als schillernder Medienstar Hof. Zu seiner Rechten zählt Carl von Linné, der als schwedischer Bauernjunge auszog, die gesamte damals bekannte Natur zu beschreiben, gedankenverloren die Staubblätter in einer exotischen Blüte des Tischgedecks. Am hintersten Ende des Tisches verkriecht sich der schüchterne Charles Darwin, der zeit seines Lebens solche gesellschaftlichen Anlässe mied, wo immer er nur konnte.

Doch so unterschiedlich die Persönlichkeiten in unserem virtuellen Kaffeekränzchen auch gewesen sein mögen, den illustren Herren wäre der Gesprächsstoff sicher nicht ausgegangen. Denn sie alle teilten eine große Leidenschaft: die Freude an der Artenvielfalt. Und mindestens das haben Sie und ich mit diesen großen Denkern gemeinsam.

Aus der Art geschlagen: Was ist eine Art?

Im Sommer 2017 hatte ich in der beschaulichen schwedischen Universitätsstadt Uppsala ein ganz besonderes Naturbeobachtererlebnis, das weder im Wald noch auf der Wiese, sondern in einem kleinen Haus stattfand. Voller Ehrfurcht schlich ich durch die für die Öffentlichkeit zugelassene Wohnung des schwedischen Naturforschers Carl von Linné (1707–1787), in der er die Biologie vor beinahe 300 Jahren als Wissenschaft neu erfand.



Abbildung 1.3: Der schwedische Naturforscher Carl von Linné (1707–1787) (© Julijis/stock.adobe.com)

Der besessene Naturforscher und manische Sammler wollte in seinem kleinen Refugium in der schwedischen Provinz nichts weniger als alle, ja ganz genau, ALLE, bekannten Lebewesen beschreiben, benennen und systematisch ordnen. Dieses Vorhaben mag Normalsterblichen mehr als größtenwahnsinnig erscheinen, dem akribischen Arbeiter und detailversessenen Beobachter Linné ist es für zig Tausende Arten tatsächlich gelungen. Damit wurde er zu einem ganz großen, für Naturfreunde wie mich vielleicht dem größten Biologen aller Zeiten. Er prägte seine Wissenschaft, die sogenannte Taxonomie, wie Charles Darwin die Evolution oder Gregor Mendel die Genetik. An Linnés Art, die Lebewesen zu benennen, die *binäre Nomenklatur*, halten sich seitdem alle. Bis heute!



Nach der *binären Nomenklatur* werden die wissenschaftlichen Namen aller Lebewesen aus zwei Wörtern gebildet. Das erste gibt die Gattung an, zu der die Spezies gehört (siehe Kapitel 2) und das zweite legt die genaue Art fest. Deshalb wird dieses zweite Wort auch oft als Artepitheton bezeichnet.

Ein Beispiel dazu: Die wissenschaftliche Bezeichnung für unsere eigene Art ist *Homo sapiens*. Das erste Wort »Homo« gibt dabei die Gattung an. Heute existiert nur noch eine einzige Art in dieser Gattung, doch das war nicht immer so. Vor uns gab es noch weitere Menschenarten, wie zum Beispiel den *Homo habilis* (siehe Abbildung 1.4), das heißt, die Gattung Mensch (»Homo«) kann mehrere Arten (»sapiens«, »habilis« ...) enthalten. Was für den Menschen gilt, lässt sich genauso auf die Rot-Buche, den Braunbrustigel, die Stinkmorchel oder alle anderen Arten übertragen.

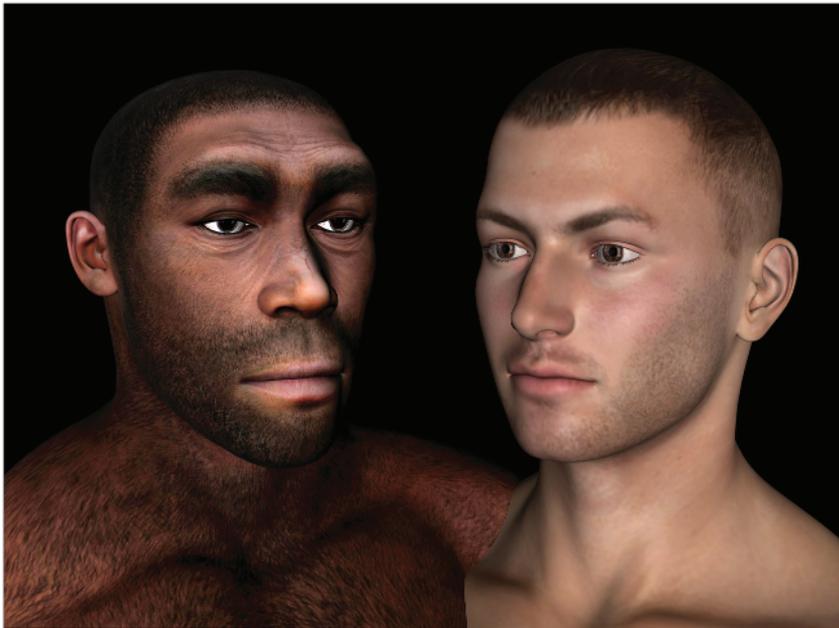


Abbildung 1.4: Zwei Menschenarten im Vergleich: *Homo habilis* links und *Homo sapiens* rechts (© Elenarts/stock.adobe.com)

Doch was genau ist eine Art? Wo verläuft die manchmal feine, oft kaum sichtbare und nicht selten auch höchst umstrittene Grenze zwischen den Spezies, wenn doch ohnehin kein Individuum dem anderen gleicht?

Bis heute ist sich die Wissenschaft nicht ganz einig, wie die Arten voneinander abgegrenzt werden sollten. Linné selbst unterschied die Arten nach ihrem Aussehen und – bei Tieren – ihren Verhaltensweisen. Er prägte damit den *morphologischen Artbegriff*.



Nach dem *morphologischen Artbegriff* bilden alle Lebewesen eine Art, die sich in den meisten Körperbaumerkmalen oder Verhaltensweisen gleichen und dadurch von anderen Lebewesen unterscheiden. Auf diese Weise abgegrenzte Arten bezeichnet man als *Morphospezies*.

Arten nach ihrem Aussehen einzuteilen, ist für uns Naturbeobachtende die praktikabelste Methode, die Spezies zu unterscheiden. Letztlich beruht die gesamte Bestimmungsliteratur auf diesem Artkonzept, das sich auf Merkmale und Verhaltensweisen zur Abgrenzung beruft.

Doch so wunderbar handlich der morphologische Artbegriff für uns Feld-Wald-und-Wiesen-Biologen erscheint, bringen seine vielen Grauzonen die nach Exaktheit strebende Wissenschaftscommunity an den Rand der Verzweiflung und darüber hinaus.

Zum einen gleicht bekanntlich kein Individuum dem anderen. Die genetische Vielfalt innerhalb der Arten erzeugt eine gewisse Variabilität der Merkmale im Erscheinungsbild – von den Profis als *Phänotyp* bezeichnet. Vielleicht haben Sie sich in einem Bestimmungsbuch ja auch schon über so präzise Fragen geärgert wie: »Ist die Struktur 6–9 mm oder doch 8–12 mm lang?« Dieses Beispiel zeigt, wie unscharf und in manchen Augen auch willkürlich die Abgrenzung der Arten nach morphologischen Gesichtspunkten verläuft oder zumindest verlaufen kann.

Darüber hinaus ist es in vielen Fällen sogar so, dass sich die Lebewesen einer Morphospezies zum Teil ganz beträchtlich unterscheiden, weil es beispielsweise große Unterschiede zwischen den Geschlechtern gibt und junge Vertreter dieser Art ganz anders aussehen als ausgewachsene Formen. Hand aufs Herz: Wer von Ihnen würde männliche und weibliche Stockenten (siehe Abbildung 1.5) nach morphologischen Kriterien guten Gewissens der gleichen Art zuordnen? Wohl niemand.



Versuchen Sie bei Ihrem nächsten Spaziergang Tiere zu entdecken, bei denen sich Männchen und Weibchen unterscheiden. Machen Sie ein Bild und sammeln Sie diese Unterschiede. Ein kleiner Tipp zum Schluss: An Gewässern werden Sie besonders leicht fündig.



Abbildung 1.5: Geschlechtsdimorphismus bei Stockenten (© rck/stock.adobe.com)

Noch beeindruckender werden die Unterschiede, wenn Sie verschiedene Entwicklungsstadien ein und desselben Individuums betrachten. Würde ein außerirdischer Biologe auf Stippvisite bei uns die Raupe, Puppe oder den erwachsenen Schmetterling des Schwalbenschwanzes (siehe Abbildung 1.6) nach dem morphologischen Artbegriff derselben Spezies »*Papilio machaon*« zuordnen? Eher unwahrscheinlich und dass, obwohl es sich ja sogar um ein und dasselbe Tier handelt.

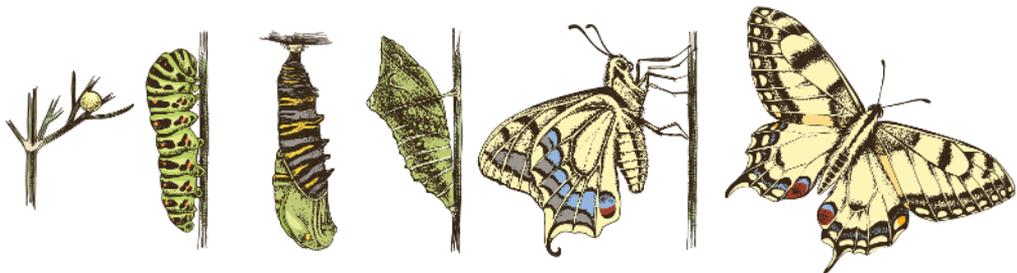


Abbildung 1.6: Entwicklungsstadien des Schwalbenschwanzes (© Marina Gorskaya / stock.adobe.com)



Versuchen Sie die unterschiedlichen Entwicklungsstadien eines Tieres aufzuspüren und zu verfolgen. Dazu kann es sich zum Beispiel lohnen, dass Sie einzelne Schmetterlingsraupen bei sich zu Hause halten, bis sie sich verpuppen. Selbstverständlich sollten Sie die geschlüpften Tiere danach wieder freilassen.

Doch wir brauchen gar nicht auf die Besucher aus dem All zu warten, denn auch hier auf der Erde wird heftig um die Definition der Arten gerungen. Der aus Deutschland stammende amerikanische Biologe Ernst Mayr (1904–2005) war so unzufrieden mit all diesen oben angeführten Unzulänglichkeiten des morphologischen Artbegriffs, dass er kurzerhand eine neue Definition vorschlug. Seiner Meinung nach sollte der sogenannte *biologische* oder *populationsgenetische Artbegriff* die nur auf Merkmale ausgerichtete Abgrenzung der Arten ablösen.



Nach dem *biologischen Artbegriff* gehören alle Individuen einer Gruppe dann zur gleichen Art, wenn sie sich unter natürlichen Bedingungen fortpflanzen und so fruchtbare Nachkommen erzeugen können.

Wenn Arten nicht mehr über ihr Aussehen, sondern als Fortpflanzungsgemeinschaft definiert werden, spielen weder Merkmale noch Verhaltensweisen eines Tieres eine Rolle. Somit wäre das Problem des unterschiedlichen Aussehens von Männchen, Weibchen oder einzelnen Entwicklungsstadien elegant vom Tisch gewischt. Doch diese scheinbar perfekte Lösung des Artproblems wurde von der wissenschaftlichen Gemeinde mehr als kritisch beäugt, denn Forschende haben an kaum etwas mehr Freude, als scheinbar allgemeingültige Definitionen zu zerpfücken. Die Suche nach Ausnahmen von der Regel in der Vielzahl an Lebewesen begann. Überlegen Sie in folgendem Beispiel ruhig mit, ob für Sie die angeführten Arten derselben biologischen Art angehören oder nicht.



Pferde und Esel zeugen miteinander Maultiere oder Mulis (siehe Abbildung 1.7). Sie pflanzen sich also untereinander fort. Gehören Pferd und Esel dann zur gleichen Art?



Abbildung 1.7: Mulis entstehen aus einer Kreuzung aus Pferd und Esel (© bernd.alter/stock.adobe.com).

Bevor ich jetzt den lauten Aufschrei aller Pferdefans bis zu meinem Schreibtisch höre, kann ich hier Entwarnung geben: Nein, Pferd und Esel gehören auch nach dem biologischen Artbegriff zu zwei verschiedenen Arten, obwohl sie miteinander Nachkommen erzeugen. Die Erklärung steckt in der Definition: Die Nachkommen einer Paarung müssen »fruchtbar« sein, das heißt sich auch untereinander fortpflanzen können. Da dies bis auf sehr wenige Ausnahmen weder Maultiere noch Mulis können, bleiben Pferd und Esel weiterhin getrennte Arten. Ich hoffe, alle Reitsportfans atmen jetzt auf.

Der erste Angriff auf den biologischen Artbegriff konnte also lächelnd abgewehrt werden. Doch die Suche nach Ausnahmen von der Regel war damit noch lange nicht zu Ende. Gegner des biologischen Artbegriffs entdeckten Großkatzen für sich.



Von den Maultieren haben Sie bestimmt schon einmal gehört, aber kennen Sie auch Tiglons oder Liger? Diese wunderschönen Katzen entstehen aus der Kreuzung eines Tigers mit einem Löwen. So erklärt sich auch ihr Name aus den englischen Begriffen »Tiger« und »Lion«. Furchtbar putzig, wenn auch nur bedingt für das heimische Sofa geeignet (siehe Abbildung 1.8).



Abbildung 1.8: Tiglons sind fruchtbare Nachkommen von Löwen und Tigern (© slowmotiongli/stock.adobe.com).

Tiger und Löwen können sich also theoretisch fortpflanzen. Das ist dann halt wie bei Pferd und Esel. Doch weit gefehlt, denn Tiglons sind im Gegensatz zu Mulis fruchtbar und können miteinander Nachkommen erzeugen. Heißt das jetzt, dass Tiger eigentlich Löwen sind, oder umgekehrt? Nein, sind sie nicht und den Juristen unter Ihnen ist es in der Definition bestimmt schon aufgefallen: Die Paarung muss »unter natürlichen Bedingungen« ablaufen. Da sich Löwen und Tiger aufgrund ihrer unterschiedlichen Lebensräume in freier Wildbahn aber niemals treffen, geschweige denn paaren, dürfen die beiden Großkatzen auch in Zukunft Löwe und Tiger bleiben. Gott sei Dank.

Wenn Sie nach dieser neuerlich erfolgreichen Verteidigung des biologischen Artbegriffs glauben sollten, dessen Anhänger hätten alle Anfeindungen überstanden, dann kennen Sie die Beharrlichkeit der Wissenschaftscommunity ganz schlecht. Die Suche ging weiter und letztlich wurden sie auch fündig. Erweitert man den Blick aus dem Reich der Tiere auf andere Organismengruppen, so findet man beispielsweise bei den Pflanzen jede Menge Arten, ja sogar Gattungen, die sich durchaus fruchtbar und unter natürlichen Bedingungen miteinander fortpflanzen.



In unseren heimischen Alpenmatten kreuzen sich unter natürlichen Bedingungen Individuen der Mücken-Händelwurz (*Gymnadenia conopsea*) mit Individuen des Schwarzen Kohlröschens (*Nigritella nigra*) zu *Gymnigritella*-Nachkommen.

Diese Kreuzungen über die klassischen Artgrenzen hinaus sind fruchtbar. Dementsprechend sollten sie zur gleichen biologischen Art gehören, werden aber auch weiterhin als getrennte Spezies betrachtet. Warum? Fragen Sie einen befreundeten Botaniker und bringen Sie viel Zeit und Freude an der Diskussion mit.



Mücken-Händelwurz
(*Gymnadenia conopsea*)

X



Schwarzes Kohlröschen
(*Nigritella nigra*)



Heufilers Gymnigritelle
(*Gymnigritella x haeufleri*)

Abbildung 1.9: Bildung eines *Gymnigritella*-Gattungshybriden aus den Mutterarten Mücken-Händelwurz und Schwarzes Kohlröschen

Neben diesen Spitzfindigkeiten bei der Auslegung der Definition kritisieren vor allem Feldforschende die fehlende Praxistauglichkeit des biologischen Artbegriffs. Wenn sie die Pflanzenvielfalt einer Wiese, die Fischfauna eines Korallenriffs oder die Insekten in einer Handvoll Erde bestimmen wollen, können sie kaum warten, bis sich alle prinzipiell möglichen Fortpflanzungsvarianten über mehrere Generationen hinweg ereignen. Das dauert einfach viel zu lang. Sie brauchen ein schnelles Ergebnis, wer in ihrem Gewimmel an Organismen

zu einer Art gehört und wer nicht. Für diese Art der Datenerhebung ist der biologische Artbegriff aus rein pragmatischen Gründen schlichtweg ungeeignet.

Doch neben pragmatischen Argumenten gibt es auch prinzipielle Bedenken, gegen den biologischen Artbegriff, weil er sich nämlich auf eine riesige Zahl an Lebewesen, ja ganze Organismenreiche gar nicht anwenden lässt. Und zwar aus Prinzip.



Wenn Arten als Fortpflanzungsgemeinschaften definiert sind, dann müssen sie sich auch miteinander fortpflanzen.

Viele einzellige Lebewesen, wie beispielsweise Bakterien, erzeugen ihre Nachkommen durch Teilung, das heißt, sie brauchen dafür keinen Partner, sodass sich die Definition des biologischen Artbegriffs hier gar nicht anwenden lässt. Ohne sexuelle Fortpflanzung fehlt einfach das entscheidende Kriterium der Abgrenzung von Spezies und somit entziehen sich die vielen Sexverweigerer unter den Organismen einfach einer Klassifikation durch den biologischen Artbegriff.

Sie sehen also, dass die Frage »Was ist eine Art?« bis heute noch nicht abschließend beantwortet ist. Kein Wunder, dass die Forschenden nach neuen Wegen suchen, das Artproblem endlich in den Griff zu bekommen. Dementsprechend konkurrieren viele weitere phylogenetische, ökologische, evolutionsbiologische oder genotypische Definitionen um die Aufnahme in taxonomische oder systematische Lehrbücher.

Doch keiner der vielen Versuche konnte sich wirklich durchsetzen und so setzen wir Naturbeobachtende eigentlich bis heute auf die Definition von Linné und bestimmen unsere Arten nach ihrem Aussehen. Auch wenn wir uns vielleicht das eine oder andere Mal über die unklaren Merkmale ärgern, der morphologische Artbegriff ist für die Arbeit draußen in der Natur am besten geeignet und wird es wohl noch lange bleiben.

Unbekannte Vielfalt

Ich bekenne mich schuldig: Ich bin ein Twitcher. Sie auch? Twitcher sind Menschen, die akribisch genau aufschreiben oder besser abhaken, was sie an Arten in der Natur gesehen haben. Dabei existieren auf meinem Schreibtisch (oder zum Leidwesen meiner Frau auch in meinen Hosentaschen) oft viele Listen nebeneinander – gerne auf Zetteln und Notizbüchern oder auch in Online-Dokumentationsplattformen und -Datenbanken. Ganz besonders ausgeprägt ist diese Manie unter Ornithologen, die genau Buch führen, wie viele Vögel sie in ihrem Leben, an einem bestimmten Ort, in diesem Jahr oder sonst irgendwie, irgendwo, irgendwann beobachten konnten. Je mehr, desto besser.

Twitcher haben einen Sammeltick, und wer sammelt, weiß nicht nur, was er hat, er weiß vor allem, was ihm noch fehlt. Die in vielen Augen etwas schrullige, aber insgesamt doch lebenswürdige Obsession des Sammelns hat einen Hang zur Vollständigkeit, der in milden Fällen die Urlaubsplanung der Familie bestimmt und in schweren Fällen dazu führt, permanent die einschlägigen Apps zu checken, ob nicht ein Sturm einen seltenen Irrgast aus fernen Ländern in die heimischen Gefilde geweht hat. Wobei die Geografie der »heimischen Gefilde« durchaus großzügig ausgelegt wird. Was sind schon 700 Kilometer Strecke, wenn es ein Rubinkehlchen zu sehen gibt?

Doch wie viele verschiedene Arten aller Organismen gibt es eigentlich? Die Frage kann ich Ihnen nicht beantworten. Doch nicht nur ich, die gesamte systematisch taxonomische Forschung muss da leider wissensmäßig passen.



Bisher wurden weltweit etwa 1,3 bis 1,5 Millionen Spezies wissenschaftlich beschrieben, doch es gibt noch so viele unentdeckte Organismen, dass selbst die Schätzungen, wie viele Arten es möglicherweise geben könnte, stark variieren. Während die eher Vorsichtigen auf knapp 10 Millionen tippen, könnten es aber durchaus auch 100 Millionen Arten sein.

Im Durchschnitt werden jedes Jahr rund 18.000 Spezies neu beschrieben. Natürlich nicht, weil die so schnell entstehen, sondern weil wir erst jetzt anfangen, genau nachzusehen. Dabei sucht die Wissenschaft längst nicht mehr nur mit Lupe und Fernglas, sondern setzt auf viel genauere Methoden (wie beispielsweise der Vergleich der Erbinformationen mittels DNA-Barcoding). So wird aus einer Gruppe millimeterkleiner Rüsselkäferchen, die bisher zu einer Art gehörten, weil sie für unser Auge praktisch völlig gleich aussehen, eine Vielzahl verschiedener Spezies.



Abbildung 1.10: Die Twitcher-Gemeinde trifft sich, um eine seltene Art abzuholen
(© aquaphoto/stock.adobe.com).

Doch nicht nur die Bestimmungsmethoden verfeinern sich, wir dringen auch in immer neue Lebensräume vor. Von den höchsten Gipfeln der Berge, über die hintersten Ecken des Regenwaldes bis in die unzugänglichsten Tiefen der Ozeane strecken die Meeressforschenden inzwischen ihre neugierigen Fühler aus, um dort nach neuen Arten zu suchen.

Für uns Twitcher ist dieser stete Nachschub an Arten natürlich ein richtiger Segen, denn was könnte schlimmer als eine vollständige Sammlung sein? Daran möchte ich gar nicht denken, aber Gott sei Dank gibt es für mich noch jede Menge abzuhaken. Jetzt entschuldigen Sie mich bitte, ich muss schnell mal checken, was die Melde-Apps so zeigen ...

Vielfalt der Lebensräume: 1 plus 1 macht mehr als 2

Viele Astronauten berichten davon, dass der Anblick dieser wunderbar blauen Kugel, die wir Erde nennen, in den unendlichen Weiten des Alls ihre Sicht auf die Welt im wahrsten Sinne des Wortes verändert hat. Vielen wurde die Zerbrechlichkeit der Ökosysteme und die Verletzlichkeit der Lebensräume erst aus der Distanz so richtig bewusst. Und das obwohl, oder vielleicht gerade weil, sich aus dem Weltall nur das große Ganze und nicht das feine Detail erkennen lässt. Von der internationalen Raumstation ISS lassen sich beispielsweise nur die großen *Biome* der Erde ausmachen.



Ein *Biom* ist eine Gemeinschaft von Arten, die für einen großen geografischen Bereich typisch ist und dieser Region ihr charakteristisches Aussehen verleiht. Diese Lebensgemeinschaft entsteht durch das Zusammenspiel der Organismen unter den dort herrschenden Umweltbedingungen.

Für das Festland werden zehn verschiedene Biome beschrieben (siehe Abbildung 1.11).

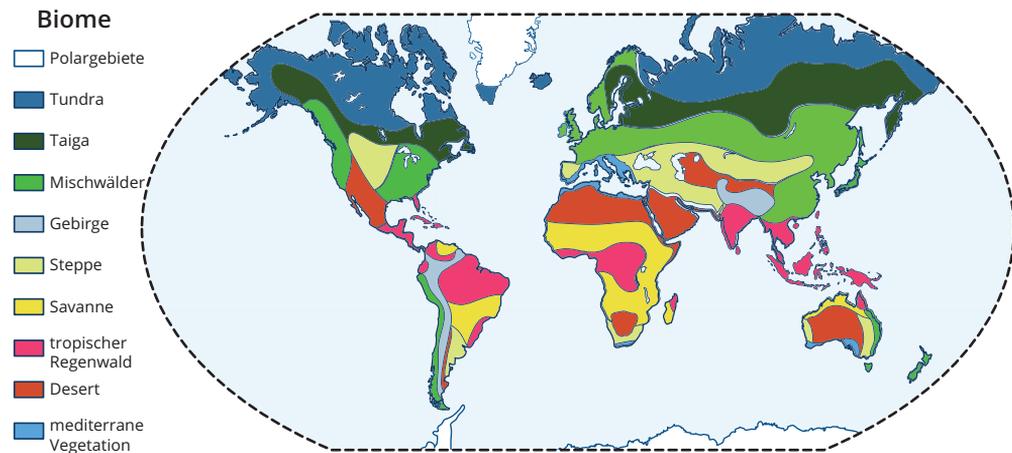


Abbildung 1.11: Die Biome der Welt (© designua/stock.adobe.com)

Doch wie viele von uns haben schon den Weitblick aus dem All? Mir persönlich wird ja schon im Karussell am Rummelplatz schlecht, sodass ich ein denkbar schlechter Reisegefährte für jedwede Weltraummission wäre. Da bleibe ich besser brav daheim auf festem Boden und sehe mir die Welt lieber im Detail als im großen Ganzen an. Dabei gibt es Erstaunliches zu entdecken. Denn was aus dem All nach einem einheitlichen Biom aussieht, entpuppt sich bei genauerer Betrachtung sehr schnell als äußerst diverses Konglomerat verschiedenster Lebensräume.



Nehmen wir beispielsweise den für Deutschland typischsten Lebensraum: den Wald. Doch Wald ist nicht gleich Wald. Stammen Sie aus dem Brandenburgischen, haben Sie nach Harz duftende Kiefernheide im Kopf, während die Bewohner des Spessarts eher mächtige Buchenwälder vor sich sehen. Und auch ein undurchdringlicher Auwald an den Ausläufern der Spree unterscheidet sich markant vom schütterten Nadelwald alpiner Lagen (siehe Abbildung 1.12).



Abbildung 1.12: Verschiedene Waldtypen in Deutschland (© Smileus (oben), Inga Nielsen (links), sandra zuerlein (zweites von links), Pellini (zweites von rechts) und funkenzauber (rechts) / alle stock.adobe.com)

Geht man wirklich ins Detail – und nichts macht die Wissenschaft lieber –, sind allein in Mitteleuropa über 40 verschiedene Waldgesellschaften beschrieben, die sich alle mehr oder wenig in ihrer Organismenwelt unterscheiden.

Doch Deutschland besteht ja nicht nur aus den Wäldern, sondern auch Wiesen und Weiden, Äcker und Moore, Felsen und Küsten, Bäche, Tümpel und Seen prägen die Landschaft. Weitert man den Blick von Deutschland auf Europa und die ganze Welt, nimmt die Zahl an Lebensräumen weiter zu. Wie viele verschiedene Regenwaldgesellschaften mögen in tropischen Ländern wachsen? Welche unterschiedlichen Wüsten bedecken die Welt? Zoomt man vom Weltall in die einzelnen Biome, werden aus scheinbar einheitlichen Landschaften diverse Mosaike verschiedenster Lebensräume, die nur aus dem Weltall gleich aussehen. Wer die Landschaft mit offenen Augen und einem Blick fürs Detail durchwandert, stellt fest, dass kein Lebensraum dem anderen gleicht. Alle unterscheiden sich durch ganz spezielle Bedingungen, die eine einzigartige Lebenswelt hervorbringen und somit als *Vielfalt der Lebensräume* ein Teil der Biodiversität sind.

Auf einen Blick

- ✓ Artenvielfalt ist neben der genetischen Vielfalt und der Vielfalt an Lebensräumen nur ein Teil der Biodiversität.
- ✓ Kein Lebewesen gleicht dem anderen (= genetische Vielfalt).
- ✓ Bis heute sind rund 1,8 Millionen Arten weltweit beschrieben (= Artenvielfalt). Die meisten Arten sind allerdings noch unbekannt und warten auf ihre Entdeckung.
- ✓ Es gibt unterschiedliche Wege festzulegen, was genau eine Art ist. Die aktuell gebräuchlichsten Definitionen sind der morphologische und der biologische Artbegriff.
- ✓ Die zehn großen Biome der Erde bestehen aus einer Vielzahl an Lebensräumen, die unterschiedliche Lebewesen beheimaten (= Vielfalt der Lebensräume).

Geschichte des Lebens

Die Geschichte des Lebens dauert schon über 4 Milliarden Jahre. Obwohl sie echt interessant ist, kann ich sie Ihnen nicht in aller Ausführlichkeit erzählen. Einige Höhepunkte müssen reichen, schließlich möchte ich Ihnen noch jene Ideen vorstellen, die dazu beitragen, grundlegende Prinzipien zur Entstehung der biologischen Vielfalt zu entschlüsseln. Deshalb ist die folgende Geschichte des Lebens auch eine Geschichte ihrer Entdeckung.

Evolution der Evolution: Eine Theorie wird geboren

Eine der großen Menschheitsfragen, die weit über die Naturwissenschaften hinausgeht und unser eigenes Selbstverständnis, unsere Stellung im Universum beleuchtet, ist die Frage: »Woher kommen wir, wie sind wir und die vielen anderen Arten entstanden?« Genies und alle anderen zermarterten sich jahrtausendlang den Kopf, um eine Antwort auf diese Frage zu finden. Philosophen aller Kulturen, Theologen aller Religionen fanden von der Steinzeit bis zur Aufklärung im 18. Jahrhundert nur eine Lösung: Eine höhere Macht, eine Schöpfergestalt, musste ihre Finger, ihren Atem oder was auch immer sonst im Spiel haben.

Mit dem Zeitalter der Aufklärung begann nach den Äonen des Glaubens die Epoche des Zweifels. Die Denker des 18. Jahrhunderts riefen das »Sapere aude!« (aus dem Lateinischen: »Wage es, weise zu sein!«) aus und wagten es tatsächlich, ihren eigenen Verstand zu gebrauchen. Nach und nach wurden die Aussagen der Schöpfungsmythen durch Naturbeobachtungen überprüft. Einer der ersten Vertreter dieser Herangehensweise war ein französischer Geologe mit dem wohlklingenden Namen Georges Léopold Chrétien Frédéric Dagobert Baron de Cuvier (siehe Abbildung 1.13).



Georges Baron von Cuvier.

Abbildung 1.13: Georges Léopold Chrétien Frédéric Dagobert Baron de Cuvier (1769–1832)
(© nickolae/stock.adobe.com)

Cuvier war ein begeisterter Fossiliensammler. Doch anders als andere Freunde von Versteinerungen ordnete er seine Funde nach systematischen und nicht nach ästhetischen Prinzipien. Er liebte seine Objekte also nicht (nur) wegen ihrer Schönheit, sondern stellte fest, dass ähnliche Gesteinsschichten ähnliche Fossilien enthielten. Das gab ihm zu denken, denn wie konnte es sein, dass viele Arten aus Gottes Schöpfung heute gar nicht mehr existieren? Cuvier erklärte sich dieses Aussterben mit der sogenannten *Katastrophentheorie*. Erdbeben, Überflutungen oder sonstige Ereignisse löschten nach seiner Meinung einen Teil der Lebewesen aus und nach diesen Katastrophen entstand stets ein neuer Satz an Lebewesen.

Doch wie genau diese neuen Lebewesen entstanden waren, konnte Cuvier nicht sagen. Sein britischer Rivale Charles Lyell (siehe Abbildung 1.14) setzte sogar das Gerücht in die Welt, Cuvier hätte behauptet, dass Gott die Welt nach jeder Katastrophe neu schuf. Der Brite selbst hielt nichts von diesen Katastrophen, sondern sah die Entstehung der Welt eher als einen langsamen, graduellen Prozess und formulierte daraus seine *Aktualismustheorie*.

Die wichtigste Schlussfolgerung dieser Überlegungen war, dass die Erde älter sein musste als bisher angenommen. Bis ins 18. Jahrhundert wurde das Alter der Erde mit historischen Quellen, also zum Beispiel der Bibel berechnet. Addierte man die Lebensalter der in diesen Texten genannten Personen auf, so ergab sich ein Alter der Erde von etwas über 6.000 Jahren. Doch dieser Zeitraum wäre viel zu kurz, um die Funde der Fossiliensammler um Cuvier mit den Überlegungen zur Langsamkeit geologischer Prozesse von Lyell zu erklären. Schon bald war die Beweislast der Naturbeobachtungen so erdrückend, dass die naturwissenschaftliche Denkweise die mythologische und theologische Sicht auf die Dinge weitgehend verdrängte.

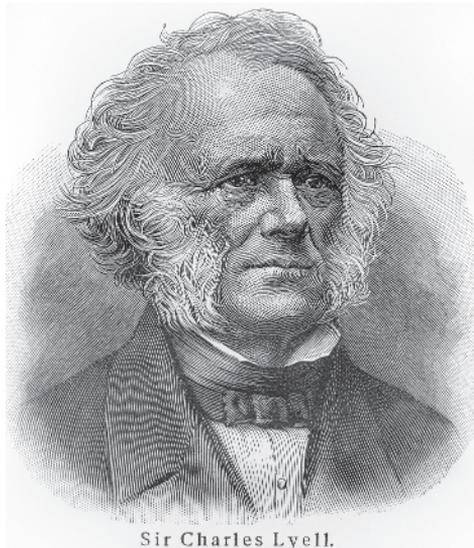


Abbildung 1.14: Sir Charles Lyell (1797–1875)
(© nickolae/stock.adobe.com)

Sollten Sie sich jetzt fragen, was diese geologischen Exkurse aus weit zurückliegenden Jahrhunderten in einem Buch über Naturbeobachtungen in Deutschland zu suchen haben, bitte ich Sie um noch ein klein wenig Geduld. Diese Erkenntnisse aus der Geologie bereiteten die Grundlage für einen der größten, wenn nicht den größten naturwissenschaftlichen Gedankengang, den die Menschheit je entwickelt hat: die *Evolutionstheorie*.



Es war ein sommerlicher Abend am 1. Juli 1858, als sich die Honoratioren der Linnean Society zu ihrem regelmäßigen Donnerstagstreffen im Burlington House in London trafen. Wahrscheinlich wäre der eine oder andere der älteren Herren an diesem Abend lieber zu Hause geblieben, denn die Tagesordnung verhiess nichts Weltbewegendes. Noch ahnte niemand, dass an diesem lauen Sommerabend die Welt tatsächlich bewegt werden würde. Einer der vielen Programmpunkte war die Lesung eines Manuskripts von dem als schrullig verschrienen Weltreisenden Charles Darwin (siehe Abbildung 1.15) und dem obskuren Trophäenjäger Alfred Russel Wallace. Ob sich der aus einfachen Verhältnissen stammende Wallace unter den reichen Gelehrten der Linnean Society wohlgeföhlt hätte, wissen wir nicht, denn er musste an jenem Abend im fernen Malaysia mit der Jagd auf exotische Vögel sein Geld sauer verdienen. Darwin selbst scheute solche Auftritte, wo immer er konnte und ließ sich auch an jenem denkwürdigen 1. Juli 1858 entschuldigen. In Abwesenheit der beiden Autoren trug ein Vertreter den Text vor, mit dem sie nichts weniger als die Grundzüge der später als *Evolution* bekannt gewordenen Theorie zusammenfassten.

Mag es am mangelnden Enthusiasmus des Vortragenden, an der lauen Sommerluft oder einfach am wirklich sperrig formulierten Text gelegen haben: Die Resonanz an diesem Abend war mehr als bescheiden. Die bahnbrechende Idee erhielt

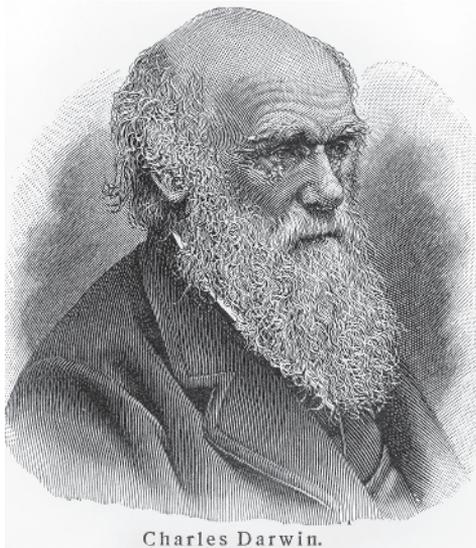


Abbildung 1.15: Charles Darwin (1809–1882)
(© nickolae/stock.adobe.com)

weder euphorische Zustimmung noch wurde sie gleich abgelehnt. Bestimmt klatschten einige der anwesenden Gelehrten artig Beifall, doch an diesem Abend wurde eine der größten Ideen der Menschheitsgeschichte schlichtweg ignoriert. Vermutlich erkannten die meisten Anwesenden wohl die Tragweite dieser Gedanken nicht. Noch nicht.

Ins Bewusstsein von Wissenschaftlern und Laien gelangte die Evolutionstheorie, als im Jahr darauf Darwins Hauptwerk *On the Origin of Species by the Means of Natural Selection* erschien. Das Buch wurde zum Bestseller. Nicht zuletzt dank der medienwirksam inszenierten Auseinandersetzungen, die mit überspitzten Formulierungen die Positionen Darwins und seiner Gegner einer breiten Öffentlichkeit ins Bewusstsein brachten. Darwin selbst war für solche Kämpfe übrigens viel zu schüchtern und hielt sich diesen Diskussionen fern. Stattdessen widmete er sich viel lieber seinen geliebten Regenwürmern, die er ein Leben lang studierte.

Vielleicht hätte Darwin seine Ideen niemals veröffentlicht, wenn ihm nicht 1858 Alfred Russel Wallace einen Brief geschrieben hätte, der ähnliche Gedanken zur Entstehung der Arten enthielt wie seine eigenen. Vermutlich schwang auch eine gehörige Portion Eitelkeit mit, als Darwin seine Ideen in ein Buch packte, um dem aus ärmsten Verhältnissen stammenden Wallace zuvorzukommen. Obwohl allein Darwin den Ruhm erntete, war Wallace dem alten Mann nicht gram. Sie blieben zeitlebens befreundet und Wallace trug sogar den Sarg Darwins durch Westminster Abbey, wo der große Denker an der Seite Isaac Newtons bis heute ruht.

Entstehung der Artenvielfalt

Mithilfe von Darwins Evolutionstheorie ließ sich die Entstehung der biologischen Vielfalt auf einmal wunderbar logisch erklären und mit zahlreichen Naturbeobachtungen belegen.

Doch was genau sagt Darwin eigentlich? Die Quintessenz seiner Lehre ist wohl der Gedanke, dass es für die Entstehung der Arten keines Schöpfers bedarf, sondern die Arten von selbst und auseinander heraus entstehen können. Damit sind wir Mensch nicht mit den Affen verwandt, wie Gegner der Evolutionstheorie damals spotteten, sondern wir haben auch gemeinsame Vorfahren mit den Grottenolmen, Winkelspinnen, Pfaffenhütchen, Edel-Reizkern, Pantoffeltierchen und Cholera-Bakterien. Kurzum: Alle Lebewesen sind mehr oder weniger eng miteinander verwandt und durch den Stammbaum des Lebens miteinander verknüpft (siehe Abbildung 1.16).

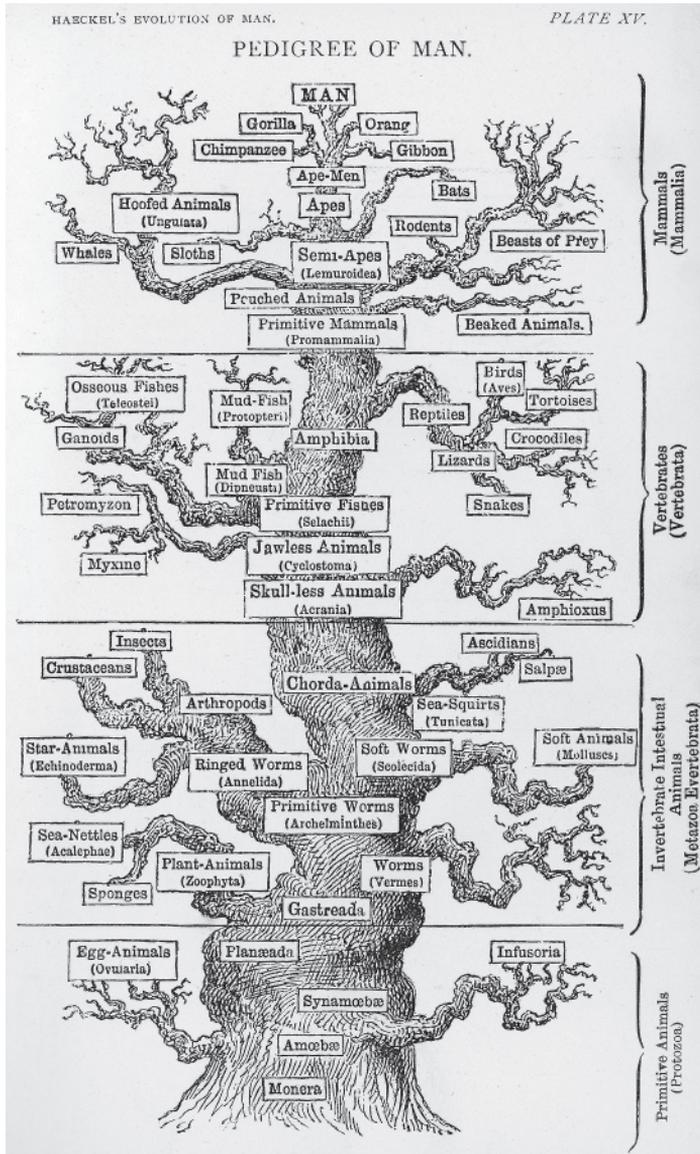


Abbildung 1.16: Der Baum des Lebens in einer Darstellung von Ernst Haeckel aus dem Jahr 1879 (© Achivist/stock . adobe . com)

Obwohl sie beinahe alle biologischen Vorgänge erklärt, sind die der Evolutionstheorie zugrunde liegenden Gedanken einfach zu verstehen. Zunächst einmal unterscheiden sich alle Lebewesen voneinander. Darwin bezeichnete diese Beobachtung als *Variabilität*. Durch die Erkenntnisse der Genetik wissen wir heute, dass diese unterschiedlichen Merkmale die Folge von spontan auftretenden *Mutationen* und der *Rekombination*, also der zufälligen Verteilung des Erbguts bei der Fortpflanzung, sind. Doch davon konnte Darwin natürlich noch nichts wissen.

Als genauer Naturbeobachter wusste er allerdings ganz genau, dass alle Lebewesen mehr Nachkommen haben, als zum Überleben der Art notwendig wären. Da die Ressourcen begrenzt sind, kommt es durch diese *Überproduktion an Nachkommen* zu einem Konkurrenzkampf. Und wer gewinnt nun diesen »*struggle for life*«, wie Darwin es nannte? Es sind nicht unbedingt die Stärkeren, sondern nach dem Prinzip »*survival of the fittest*« die am besten angepassten Individuen. Nur diese überleben, pflanzen sich fort und geben ihre Erbinformationen für diese gut passenden Merkmale an die nächste Generation weiter. Alle anderen werden von der *natürlichen Selektion* ausgelesen – eine euphemistische Umschreibung für: Sie sterben aus!



Ein oft zitiertes Beispiel zur Illustration von Darwins Gedankengängen ist die Entstehung langhalsiger Giraffen (siehe Abbildung 1.17).



Abbildung 1.17: Hungrige Giraffen wollen hoch hinaus
(© BlueOrangeStudio/stock.adobe.com).

Unter den Vorfahren der heutigen, langhalsigen Savannenbewohner gab es einst auch Tiere mit einem kurzen Hals. Doch die sehen wir heute nicht mehr, weil sie den Kampf um die Blätter hoch oben am Baum gegen ihre langhalsigen Brüder und Schwestern verloren. Die kurzhalsigen Giraffen sind nach und nach verhungert und nur die langhalsigen wurden von der Selektion übrig gelassen, sodass wir sie bis heute in Afrika bewundern können.

Diese Überlegungen sind so einleuchtend, gut zu verstehen und in wenigen Zeilen zu formulieren, dass nicht nur ich mich wundere, warum es bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts dauerte, bis ein Darwin kam, der dies erkannte.

Meilensteine der frühen Evolution

Vor 4,5 Milliarden Jahren begann sich unsere Erde zu formen. Doch an diesem Anfang war sie buchstäblich wüst und leer, dazu noch furchtbar heiß und insgesamt recht ungemütlich. Doch allmählich kühlte sich die Erde ab. Als die Temperatur der Atmosphäre unter 100 °C sank, kondensierte der Wasserdampf und es begann zu regnen. Nicht ein paar Stunden oder Tage, sondern Millionen Jahre lang tropfte flüssiges Wasser zu Boden, rann in die tiefer gelegenen Bereiche und sammelte sich dort zu Ozeanen. In diesem Urmeer liefen Reaktionen ab, bei denen sich die chemischen Bausteine des Lebens, wie beispielsweise Proteine, Kohlenhydrate oder Nukleinsäuren, formten. Doch wie wurde aus einem wilden Haufen an Molekülen eine sich selbst reproduzierende, hoch strukturierte Einheit? Wie entstand die erste Zelle? Mit anderen Worten: Wie kam das Leben in die Welt?

Diese alles entscheidenden Fragen sind bis heute ungeklärt. Braucht es eine göttliche Schöpfergestalt oder gibt es einen natürlichen, von uns noch nicht erkannten Prozess, der aus toten Molekülen lebende Systeme macht? Wir wissen es nicht. Die ältesten Belege für Lebewesen sind jedenfalls etwa 3,8 Milliarden Jahre alte Stromatolithe, die im heutigen Grönland gefunden wurden (siehe Abbildung 1.18).

Diese natürlich noch sehr einfach gebauten einzelligen Mikroorganismen bezogen ihre notwendige Energie aus in der sogenannten Ursuppe gelösten Biomolekülen, die auf natürliche Weise entstanden. Ihr Hunger ließ den Vorrat an gelösten Biomolekülen schneller schwinden, als sie sich nachbildeten. Diese Mikroben lebten also gewaltig über ihre Verhältnisse und betrieben Raubbau mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen, sodass die Nahrung knapp wurde und allen Lebewesen der Hungertod drohte. Kommt ihnen dieser verschwenderische Lebensstil irgendwie bekannt vor? Ähnlichkeiten mit heute lebenden Organismen sind rein zufällig oder vielleicht auch nicht.

Die Geschichte des Lebens wäre also beinahe schon kurz nach ihrem Beginn zu Ende erzählt gewesen, wenn es nicht durch einen unglaublich glücklichen Zufall einigen Mikroorganismen gelungen wäre, eine schier unerschöpfliche Energiequelle anzuzapfen: die Sonne. Die ersten Lebewesen, die *Fotosynthese* betreiben konnten, waren Cyanobakterien (siehe Abbildung 1.19).



Abbildung 1.18: Stromatolithe sind die ältesten bekannten Lebewesen (© frenta/stock . adobe . com).



Abbildung 1.19: Fotosynthetisch aktive Cyanobakterien nutzen das unbeschränkt vorhandene Licht der Sonne als regenerative Energiequelle (© elif/stock . adobe . com).

Mit ihrem grünen Farbstoff *Chlorophyll* nutzten sie die Lichtenergie der Sonne, um aus reichlich vorhandenem, sich stets nachbildendem Kohlenstoffdioxid und Wasser energiereichen Traubenzucker herzustellen. Als Abfallprodukt dieses Stoffwechselweges entstand Sauerstoff, der sich von da an in der Erdatmosphäre anreicherte (siehe Abbildung 1.20).

Fotosynthese

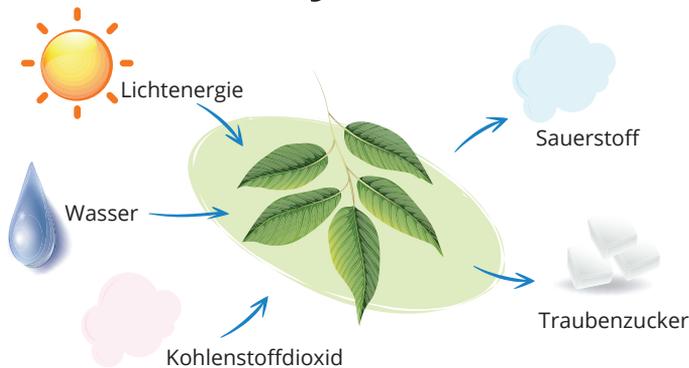


Abbildung 1.20: Bildung von energiereichem Traubenzucker durch Fotosynthese
(© blueringmedia/stock.adobe.com)

Doch das Leben hatte nicht nur eine neue Energiequelle. Aus einer sauerstofffreien (= *anaeroben*) Welt wurde durch die Fotosynthese eine sauerstoffreiche (= *aerobe*), in der völlig neue, deutlich effizientere Stoffwechselwege möglich wurden. Baut ein Organismus ein und dieselbe Menge Traubenzucker mit Sauerstoff in der *Zellatmung* ab, steht ihm ungefähr 18-mal mehr Energie zur Verfügung als beim Abbau der gleichen Menge Traubenzucker ohne Sauerstoff in einer *Gärung*. Als Produkte der Zellatmung entstehen dabei Kohlenstoffdioxid und Wasser, also die Ausgangsmaterialien der Fotosynthese. Der Kohlenstoffkreislauf war geboren und wird bis heute durch die unermüdliche Tätigkeit der Sonne am Laufen gehalten.

Als die in der Ursuppe gelösten Nährstoffe zu Ende gingen, begannen größere Einzeller die kleineren aufzufressen. Doch die kleinen Mikroben setzten sich gegen ihre großen Fressfeinde zur Wehr. Einigen gelang es, den Verdauungsprozess der Räuber zu stoppen, sodass sie gut geschützt in den Zellen ihrer Fressfeinde weiterleben konnten. Auch die Räuber hatten einen Vorteil, denn sie konnten den Stoffwechsel ihrer einverleibten Neuankömmlinge für sich nutzen. Nach dieser *Endosymbiontentheorie* (siehe Abbildung 1.21) entstanden aus *Prokaryonten* mit einfach gebauten Zellen ohne Zellkern wesentlich kompliziertere *Eukaryonten* mit einem echten Zellkern und spezialisierten Organellen (beispielsweise Mitochondrien für die Zellatmung oder Chloroplasten für die Fotosynthese).

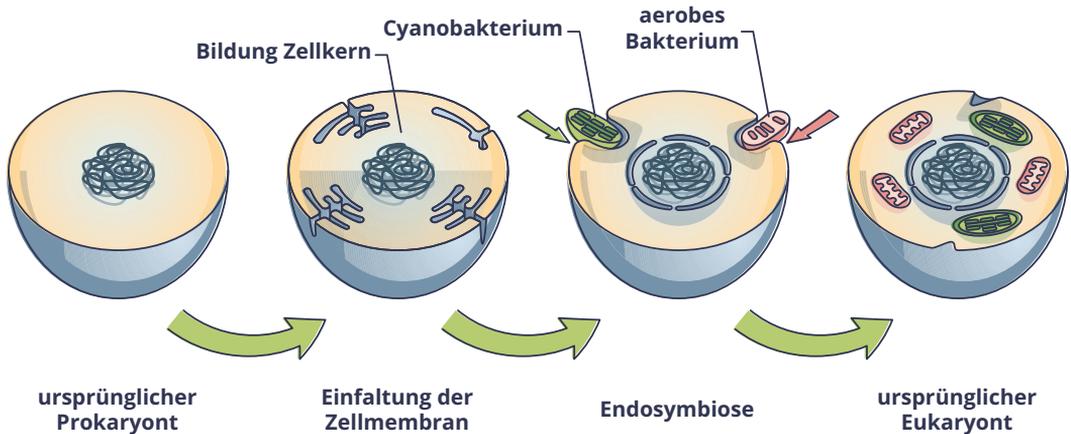


Abbildung 1.21: Entstehung von Zellorganellen nach der Endosymbiontentheorie
(© VectorMine/stock.adobe.com)

In einer Welt voller hungriger Fressfeinde wurde Größe schnell zum wichtigsten Selektionsvorteil. Je größer die Zellen waren, desto weniger Angst mussten sie haben, aufgefressen zu werden. Aber warum leben wir dann heute nicht in einer Welt mit riesigen Einzellern? Die Antwort liefert die Physik der Bewegung von Atomen und Molekülen. Das einfachste und bei Prokaryonten einzige Transportsystem, mit dem die kleinsten Bausteine der Stoffe von einem Ort der Zelle zum nächsten gelangen, ist die *Diffusion*.



Unter *Diffusion* versteht man die Ausbreitungsbewegung der Teilchen von Orten mit hoher Konzentration zu Orten mit niedriger Konzentration.

Die gute Nachricht ist: Diffusionsprozesse erfolgen spontan, das heißt ohne zusätzlichen Energieaufwand. Aber es gibt auch eine schlechte Nachricht: Die Diffusion ist furchtbar langsam.



Wie langsam die Diffusion tatsächlich ist, können Sie mit einem einfachen Experiment selbst ausprobieren. Bringen Sie ein wenig Farbstoff (zum Beispiel mit einem Fruchttetebeutel) in kaltes Wasser und beobachten Sie, wie sich der Farbstoff ganz von selbst im Wasser verteilt. Wenn Sie geduldig genug sind, färbt sich die gesamte Flüssigkeit gleichmäßig. Wenn Sie sehr durstig sind, dürfen Sie natürlich auch umrühren. Das ist dann aber keine Diffusion mehr ...

Wenn Zellen also immer weiterwachsen, das heißt die Entfernungen zwischen den einzelnen Orten in einer Zelle sich vergrößern, dann dauert es schlichtweg viel zu lange, bis die Teilchen durch das Zellplasma diffundieren.

Weil die Teilchen sich so langsam bewegen, ist das Größenwachstum der Zellen also begrenzt. Sie müssen mikroskopisch klein bleiben, um überhaupt funktionieren zu können. Gleichzeitig ist in einer Welt des Fressens und Gefressenwerdens Größe ein unschätzbare Selektionsvorteil. Doch wie können Organismen größer werden, wenn doch die Zellen selbst klein bleiben müssen? Die Lösung dieser Frage brachte vermutlich ein zufällig aufgetretener Fehler: Irgendwann funktionierte bei einem Einzeller die Zellteilung nicht so, wie es sein sollte. Statt sich nach der Teilung voneinander zu lösen und unabhängig zu leben, blieben die beiden Zellen aus Versehen aneinander hängen. Dadurch wurde der gesamte Organismus größer, ohne die Funktionsfähigkeit der kleinen Bausteine zu verlieren. Eine Win-win-Situation im evolutiven Wettrennen.

Als sich die einzelnen Zellen auch noch spezialisierten, das heißt bestimmte Aufgaben übernahmen und andere vernachlässigten, war das erste mehrzellige Lebewesen geboren (siehe Abbildung 1.22). Geburt ist übrigens hier ein interessantes Stichwort, denn mit dem Auftreten der ersten Mehrzeller kam auch der »Tod durch Altersschwäche« in die Welt. Alle einzelligen Lebewesen waren (und sind noch immer) potenziell unsterblich, weil sie sich im Alter einfach teilen und so ihr Leben neu beginnen können. Sobald sich die Zellen allerdings spezialisieren, klappt die Fortpflanzung durch Teilung nicht mehr. Die Individuen altern und sterben schließlich ab. Die Altersschwäche ist sozusagen der Preis, den Vielzeller für ihre Größe und Effektivität bezahlen müssen.

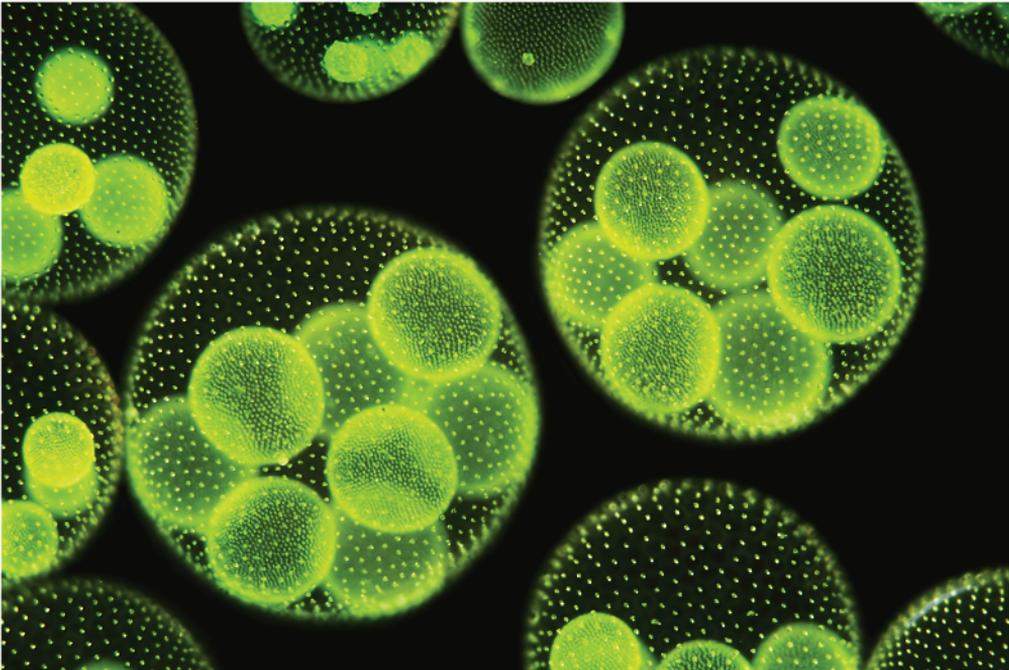


Abbildung 1.22: Die Kugelalge (Volvox) ähnelt den ersten mehrzelligen Organismen (© micro_phot /stock . adobe . com).

Im Schweinsgalopp von Massensterben zu Massensterben

Über 4 Milliarden Jahre lang und damit fast 90 Prozent der gesamten Erdgeschichte lebten auf unserer Erde nur sehr wenige, meist einzellige Lebewesen. Diese als Präkambrium bezeichnete Epoche dauert bis zu einem bis heute nicht gut verstandenen Ereignis vor etwa 541 Millionen Jahren: der *kambrischen Explosion*. Innerhalb eines mit geologischen Augen betrachteten Wimpernschlags an Zeit entwickelten sich innerhalb von rund 10 Millionen Jahren alle, ja wirklich alle Tierstämme, Pflanzengruppen und sonstigen Mitbewohner auf unserer Erde. Das Paläozoikum begann (siehe Abbildung 1.23).

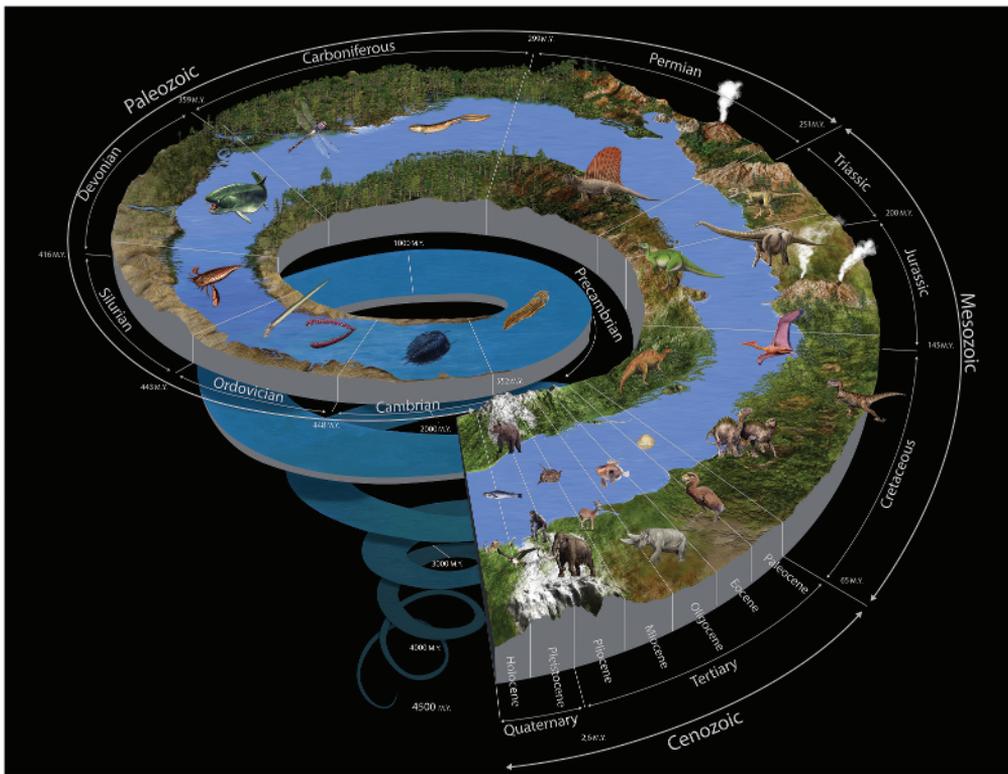


Abbildung 1.23: Die Erdzeitalter im Überblick (© nicolasprimola/stock.adobe.com)

Sollten Sie jetzt Angst davor haben, alle Erdzeitalter vom Ordovizium bis zum Holozän lernen zu müssen, kann ich Sie beruhigen. Dieses Buch möchte Sie für die heutige Natur begeistern und nicht zu sehr in der erdgeschichtlichen Vergangenheit schwelgen. Da wir uns aber gerade wieder inmitten eines *Massenaussterbens* befinden, lohnt sich doch ein kleiner (versprochen!) Blick zurück auf vergangene Ereignisse, die die biologische Vielfalt dezimierten. Allein schon deshalb, um die großen Unterschiede zwischen dem aktuell rasanten Schwund der Biodiversität (siehe Teil III) mit natürlichen Ereignissen aus der Erdgeschichte aufzuzeigen.



Geht die biologische Vielfalt auf der gesamten Erde innerhalb eines aus geologischer Sicht sehr kurzen Zeitabschnitts stark zurück, spricht man von einem *Massenaussterben* (= *Faunenwechsel*). Bisher sind sechs solcher Ereignisse aus der Erdgeschichte bekannt.

Das erste und vermutliche größte Massenaussterben fand bereits vor etwa 2,4 Milliarden Jahren im Präkambrium, also noch vor der kambrischen Explosion, statt. Durch die Erfindung der Fotosynthese erschlossen sich die Lebewesen die Sonne als Energiequelle. Der dabei als Nebenprodukt anfallende Sauerstoff war jedoch für die meisten damals lebenden, anaeroben Lebewesen ein tödliches Gift, dem sie reihenweise zum Opfer fielen. Nur die gut vor Sauerstoff versteckten anaeroben und die aeroben Lebewesen überlebten. Letztere wurden so auch zu unseren Vorfahren.

Den nächsten herben Rückschlag erlebte das Leben auf der Erde vor etwa 444 Millionen Jahren. Nach der kambrischen Explosion wurde es durch die Vielzahl neuer Lebewesen in den Meereslebensräumen eng und vor allem Pflanzen begannen die Besiedelung des Landes. Dadurch verstärkte sich die Fotosyntheseleistung und der Kohlenstoffdioxid-Gehalt der Atmosphäre nahm drastisch ab. Wie Ihnen sicher aus unserer aktuellen Situation der Klimakrise bekannt ist, bedeutet weniger Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre weniger Treibhauseffekt. Es wurde also richtig kalt. Dieser regelrechte Temperatursturz kostete geschätzten 85 Prozent aller damals lebenden Arten das Leben. Die restlichen 15 Prozent trotzten dem kalten Wetter und sorgten für Nachkommen, die auch mit diesen unwirtlichen Bedingungen zurechtkamen.

Das dritte Massenaussterben markiert das Ende des Devons vor ungefähr 370 Millionen Jahren, dem beinahe 80 Prozent aller Lebewesen im Meer zum Opfer fielen, während die Organismen an Land weitgehend ungeschoren davorkamen. Der genaue Auslöser dieser Katastrophe ist bis heute Gegenstand hitziger Diskussionen am kalten Büfett von paläontologischen Kongressen. Die Spekulationen reichen von einer plötzlichen Klimaänderung über gewaltige Vulkanausbrüche bis hin zur Zerstörung der lebensnotwendigen Ozonschicht durch die Strahlung einer erdnahen Supernova. Nichts Genaues weiß man nicht.

Der Übergang vom Erdaltertum zum Erdmittelalter vor etwa 252 Millionen Jahren wurde wohl eingeleitet durch etliche Vulkanausbrüche im heutigen Sibirien. Dabei gelangten große Mengen an Treibhausgasen in die Luft, weite Teile des Permafrostbodens tauten durch die dadurch bedingte Erwärmung nicht nur auf, sondern verbrannten zu noch mehr Kohlenstoffdioxid und Wasser. Die Folge dieses Teufelskreises war dieses Mal eine extreme Erwärmung der Erdatmosphäre, die alle Kippunkte des Ökosystems regelrecht umwarf, so dass nur 10 Prozent aller damals lebenden Organismen dieses Ereignis überlebten.

Kaum hatten sich die Lebewesen von diesem Schlag erholt, brach der damalige Superkontinent Pangaea vor rund 200 Millionen Jahren am Ende der Triaszeit entzwei. Die massive Verschiebung der Erdplatten war begleitet von Vulkanausbrüchen, die wieder eine starke Erhöhung der Kohlenstoffdioxid-Konzentration in der Atmosphäre bewirkten. In der Folge fielen drei Viertel aller Lebewesen dieser dramatischen Veränderung des Klimas zum Opfer.

Durch dieses Massensterben am Ende der Trias begann das Zeitalter des Juras und damit die Hochzeit der *Dinosaurier*. Doch wie wir spätestens seit »Jurassic Park« und dem darauffolgenden Dino-Hype wissen, wurde auch deren Existenz durch ein Massenaussterben

vor rund 66 Millionen Jahren besiegelt. Während über die Ursachen für die erdgeschichtlich früheren Aussterbeereignisse mangels stichhaltiger Beweise reichlich spekuliert wird, ist der Auslöser für den Untergang der Riesenechsen ziemlich genau bekannt.



Abbildung 1.24: Der Moment vor dem Einschlag (© lassedesignen/stock.adobe.com)

Den entscheidenden Hinweis brachte in dieser geologischen Detektivarbeit die Analyse von 66 Millionen Jahre alten Gesteinen aus aller Welt. Ganz egal wo die Geologen ihre Proben nahmen, in allen fanden sie eine extrem hohe Menge an Iridium. Schnell machte diese Iridium-Anomalie in der wissenschaftlichen Szene die Runde als möglicher Schlüssel für die Aufklärung des Dino-Rätsels.



Iridium ist ein metallisches Element, das an der Erdoberfläche kaum, auf Asteroiden allerdings sehr häufig zu finden ist.

Ein hohes Vorkommen an Iridium spricht also für den Einschlag eines Himmelskörpers auf der Erde. Aufgrund der großen Iridium-Menge, die sich über den ganzen Planeten verteilt hatte, musste die Kollision mit dem Meteoriten im wahrsten Sinne des Wortes ziemlich viel Staub aufgewirbelt haben. Doch wo genau traf der gewaltige Brocken unsere Erde? Eine fieberhafte Suche begann. Anfang der 1990er-Jahre entdeckte man auf der mexikanischen Halbinsel Yucatán einen beinahe 200 Kilometer breiten Einschlagkrater mit passendem Alter und passender Größe, den sie auf den zungenbrecherischen Namen Chicxulub taufte.

Mit wissenschaftlicher Akribie rekonstruierten die Geologen das Geschehen, das auf den verheerenden Einschlag folgte. Simulationen berechneten für den Asteroiden eine Größe von rund 14 Kilometern. Beim Aufprall drückte dieser außerirdische Felsbrocken in Bruchteilen von Sekunden schlappe 10 Kilometer des Erdmantels ein. Danach wurde die geschmolzene, pulverisierte, zu Staub zerquetschte Mixtur aus dem Himmelskörper und der Erdoberfläche wie von einem gigantischen Trampolin in die Atmosphäre zurückgeschleudert. Tausende Kubikkilometer Staub wirbelten durch die Luft. Durch diese gewaltige Staubschicht drang kaum Sonnenlicht. Ein gewaltiger Temperatursturz von rund 26 °C war die Folge. Die Kälte traf wechselwarme Reptilien viel stärker als eine damals noch kleine Gruppe pelziger Fellknäuel, die ihre Körpertemperatur unabhängig von der Außentemperatur regulieren konnten. Die Ära der Dinosaurier ging zu Ende, das Zeitalter der Säugetiere begann.



Doch wenn Sie glauben, die Dinosaurier wären ausgestorben, so täuschen Sie sich gewaltig. Schließlich haben Sie höchstpersönlich schon einmal welche live und in Farbe beobachtet, aller Wahrscheinlichkeit nach sogar schon einmal gegessen. Vergleicht man den Knochenbau der Dinosaurier oder noch besser gleich ihre Erbinformationen mit anderen Arten, so zeigt sich etwas Merkwürdiges. Ihre nächsten Verwandten sind keineswegs die heute noch lebenden Reptilien wie Schildkröten und Co., sondern die Vögel.

Streng genommen sind Vögel keine eigenständige Klasse der Wirbeltiere, sondern gehören – auch wenn Ihre Biologie-Lehrkraft immer etwas anderes behauptet hat – zu den Reptilien. Am auffälligsten ist diese Ähnlichkeit bei den heute noch lebenden Laufvögeln, die beim Casting für die x-te Fortsetzung von »Jurassic Irgendwas« locker als Velociraptoren durchgehen könnten. Um die zu sehen, brauchen Sie übrigens nicht einmal weit wegzufiegen, sondern können in Schleswig-Holstein nach einer ziemlich stattlichen und sich stetig vermehrenden Gruppe verwilderter Nandus Ausschau halten (siehe Abbildung 1.25). Sollten Sie also auf der nächsten Party nach einem Gesprächsthema suchen, erwähnen Sie doch beiläufig, dass Sie hobbymäßig Dinosaurier beobachten.

Allen erdgeschichtlich bekannten Massensterben war eines gemeinsam: Sie hatten eine geologische Ursache. Niemals war der katastrophale Rückgang der biologischen Vielfalt auf ein bestimmtes Lebewesen zurückzuführen. Doch vor rund 300.000 Jahren änderten sich die Spielregeln. Eine neue Spezies betrat die Bühne des Lebens: der *Homo sapiens*. Von einem versprengten Grüppchen auf zwei Beinen laufender Affen entwickelten wir uns in ein paar Tausend Jahren zu der bisher einzigen bekannten Spezies, deren Einfluss auf die Ökosysteme der Erde zumindest den geologischen Einflüssen entspricht, sie an vielen Stellen leider sogar übertrifft. Kein Wunder, dass Geologen schon längst vom Zeitalter der Menschen, dem *Anthropozän*, sprechen – und wieder beginnt die neue Ära mit einem Massensterben (siehe Kapitel 12). Wie lange dieses Zeitalter jedoch dauern und was das Ergebnis sein wird, ist alles andere als gewiss.



Abbildung 1.25: Nandus auf einem Feld in Schleswig-Holstein (© tobias raddau/EyeEm / stock.adobe.com)

Wofür sind Mücken gut? Gründe für den Schutz der biologischen Vielfalt

Ein romantischer Abend am See, eine laue Sommernacht auf dem Balkon oder eine morgendliche Fotopirsch im Wald – es könnte so schön sein, wenn da nicht urplötzlich dieses sirrende Geräusch einer hungrigen Mücke in mir die Mordlust wecken würde. Beim Anblick der juckenden Beulen auf meiner Haut frage ich mich bei aller Liebe zur Natur, wozu es die doofen Plagegeister braucht.

Das sagt die Ethik

Auch wenn die Texte der entsprechenden Naturphilosophen für mich als Naturwissenschaftler manchmal echt schwer zu verstehen sind, meine ich doch folgende Argumentationslinien aus den Texten herausgelesen zu haben:

✓ Intrinsischer Wert

Für viele Ethiker hat jedes Lebewesen einen intrinsischen Wert aus sich selbst heraus. Somit ist die biologische Vielfalt an sich wertvoll und damit völlig unabhängig von ihrem Nutzen für uns Menschen. Jedes Lebewesen hat ein Recht auf Existenz – auch die Stechmücken.

✓ Verantwortung gegenüber anderen Lebewesen

Aus ethischer Sicht haben wir auch eine Verantwortung gegenüber anderen Lebewesen auf der Erde, die alle ihre eigene evolutionäre Geschichte haben. Es liegt in unserer Verantwortung, das Überleben dieser Arten zu fördern, weil wir es können.

✓ Ökosystemstabilität

Durch die wechselseitigen Abhängigkeiten stabilisiert die biologische Vielfalt Ökosysteme. Wenn Arten verschwinden, kann diese Stabilität verloren gehen und auch unser eigenes Leben beeinträchtigen. Es ist also in unserem persönlichen Nützlichkeitsinteresse, die biologische Vielfalt zu erhalten. Vielleicht ist Ihnen das beim nächsten Mückenangriff ja ein kleiner Trost.

✓ Nachhaltige Nutzung und Fairness

Die ethische Forderung nach einer nachhaltigen Nutzung natürlicher Ressourcen sollte den Erhalt der biologischen Vielfalt fördern, um die Bedürfnisse künftiger Generationen zu erfüllen.

Durch den Schutz der biologischen Vielfalt (inklusive der Mücken) werden wir ethischen Grundsätzen gerecht und erfüllen unsere Verantwortung für den Erhalt der lebendigen Vielfalt auf unserem Planeten.

Das sagen Ökonomen

Tatsächlich erschließt sich diese ethische Sicht nicht jedem Menschen auf den ersten Blick. Insbesondere der einflussreiche Homo oeconomicus hätte auf die Frage »Was bringen Mücken eigentlich?« gerne eine viel praktischere Antwort. Gerne auch in Geld. Für solche bedauernswerten Menschen, die in allem und jedem nur den Preis, aber nicht den Wert erkennen, haben Öko-Ökonomen das Konzept der *Ökosystem(dienst)leistungen* entwickelt. In mühevoller Kleinarbeit monetarisieren sie die Leistungen von Lebensräumen und ihrem lebenden Inventar – sprich sie rechnen in Cent und Euro aus, was es kosten würde, wenn wir die Leistungen der Lebewesen um uns herum bezahlen müssten.



Unter *Ökosystem(dienst)leistungen* versteht man Vorgänge und Bedingungen in unserer Umgebung, die sich positiv auf uns Menschen auswirken. Sie werden oft monetarisiert, das heißt, in einer Geldsumme angegeben, die nötig wäre, um diesen Prozess künstlich aufrechtzuerhalten – wenn es denn überhaupt ginge.

Dabei unterscheidet man die in Abbildung 1.26 dargestellten Felder.

Die Ökonomen sehen die lästigen Mücken beispielsweise als wertvolles Fischfutter, das Forelle, Saibling und Co. schön wachsen lässt, bevor sie erst in Fischernetzen und dann auf unseren Tellern landen. Wären die stechenden Biester nicht von Haus aus da, müssten die Fische gefüttert werden und das kostet Geld.

Schaut man sich die entsprechenden Zahlen für Ökosystemleistungen an, wird einem vor lauter Nullen vor dem Komma ganz schwindelig. Da die Liste so unglaublich lang wäre, hier nur eine kleine Auswahl an Beispielen:

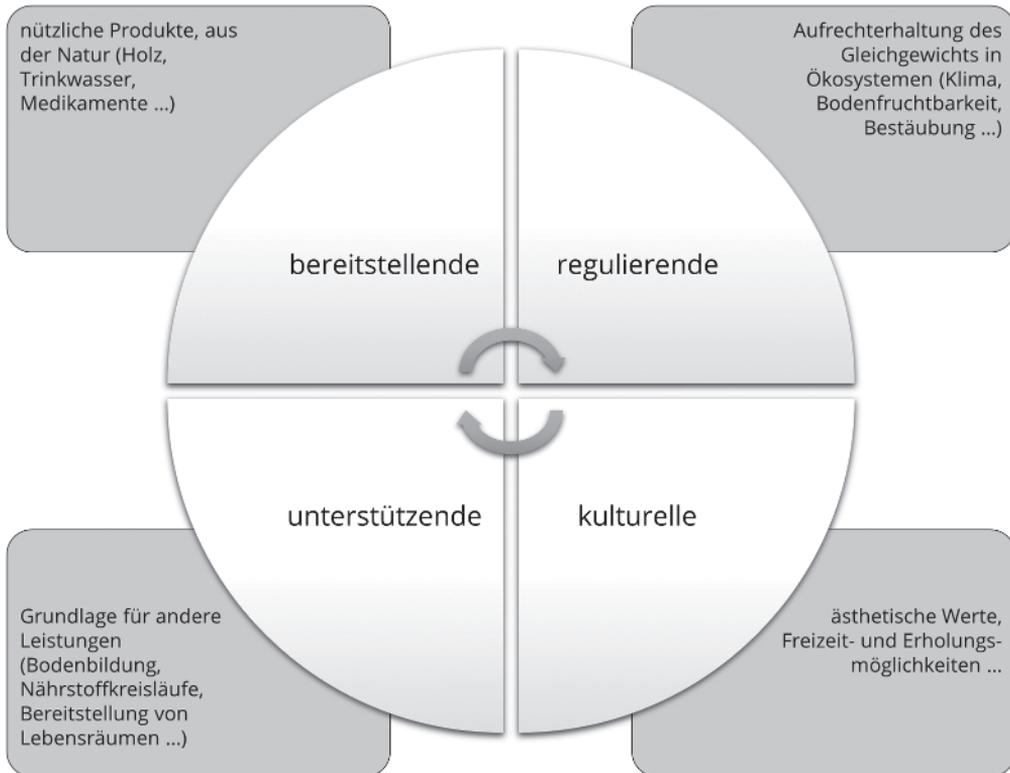


Abbildung 1.26: Überblick über verschiedene Ökosystemleistungen

- ✓ Insekten bestäuben viele unserer Nutzpflanzen. Eine geringere Biodiversität kann zu Ernteeinbußen führen oder wir müssten die Blüten von Hand bestäuben, wie es in manchen Teil der Welt bereits geschieht.
- ✓ Natürliche Nahrungsketten regulieren Schädlinge, die mit uns um die Nahrung konkurrieren, oder lästige Mitbewohner, die beispielsweise Krankheiten auf uns übertragen könnten.
- ✓ Durch den Abbau von organischem Abfall beispielsweise durch (allgemein unbeliebte) Nacktschnecken bleibt die Bodenfruchtbarkeit erhalten, von der wir alle leben.
- ✓ Pflanzen produzieren den Sauerstoff, den wir alle atmen und nehmen dabei netterweise auch noch das schädliche Treibhausgas Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre.
- ✓ Aspirin, das bis heute umsatzstärkste Medikament der Welt, ist nur ein Beispiel für die vielen pharmakologisch wirksamen Substanzen aus der Natur – und da geht es nicht nur um Geld, sondern um unsere Gesundheit.

Das Konzept der Ökosystemdienstleistungen hilft sicherlich dabei, die Abhängigkeit des Menschen von intakten Ökosystemen zu verstehen und den Wert der Biodiversität zu erkennen. Doch dieses Konzept hat auch seine Grenzen, denn für viele Dienstleistungen lässt sich kein Wert berechnen, weil wir es nicht wissen oder die Leistung gar nicht künstlich erbringen.

Das sage ich

Vielleicht geht es Ihnen da genau wie mir: Beim Anblick einer Blumenwiese im Frühling sträube ich mich einfach dagegen, an jeder Blüte nur ein Preisschild zu sehen, das den Futterwert der Pflanze für das Nutzvieh beziffert. Ein Gang durch den herbstlich gefärbten Wald ist für mich weit mehr als das Aufaddieren der Holzressourcen pro Hektar. Die biologische Vielfalt um mich herum macht mich einfach glücklich. Zugegebenermaßen Stechmücken, Zecken und Co. eher weniger, aber diese kleinen Kollateralschäden nehme ich gerne für das große Ganze in Kauf.

Die Freude, auch nur ein kleines bisschen der lebendigen Vielfalt zu entdecken, macht mich ohne ethische oder ökonomische Überlegungen ganz einfach froh. Und nicht nur mich. Britische Wissenschaftler wiesen in einer riesigen Studie nach, dass das Wohlbefinden von Menschen steigt, wenn sie in Kontakt mit der Natur treten.

Die Naturbeobachtung verhilft mir und hoffentlich auch Ihnen zu mehr Wohlbefinden im Leben. Von meinem Verlagsredakteur soll ich Ihnen an dieser Stelle noch dazu gratulieren, dass Sie mit diesem Buch nicht nur eine Anleitung für die Naturbeobachtung, sondern gleich noch einen Wegweiser für ein glückliches Leben erworben haben. Damit höre ich jetzt aber mal kurz mit dem Schreiben auf und schnappe mir mein Fernglas. Rein theoretisch könnten Sie jetzt ja auch das Buch mal zur Seite legen und schauen, was sich draußen gerade so tut.