

1.2 Artbegriff im Wandel der Zeit

MARKUS PFENNINGER

Artbegriff im Wandel der Zeit: Der Begriff der biologischen Art ist einer der wichtigsten in der Biologie und gleichzeitig seit Jahrhunderten einer der umstrittensten. Theoretische Überlegungen und neue empirische Evidenz zeigen, dass es aufgrund der Natur der Evolution keine einheitliche wissenschaftliche Definition geben kann. Trotzdem bleibt der Begriff weiterhin wichtig im wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Diskurs.

Concept of species through the time: The term biological species is one of the most important in biology, yet since centuries also the most challenged. Theoretical considerations and recent empirical evidence shows that a unified, scientific definition is impossible due to the nature of evolution. Nevertheless, the term will remain important for scientific and societal discourse.

Der Begriff der biologischen Art

In der Biologie ist die Art (lat. species) eine basale Einheit der biologischen Klassifikation und der niedrigste von acht taxonomischen Vollrängen. Alle wissenschaftlich beschriebenen Arten haben einen zweiteiligen (binominalen) lateinischen Namen. Der erste Namensteil bezeichnet die Gattung (oder lat. genus) zu dem die Art entweder alleine oder als eine von mehreren Arten gehört; er wird immer groß geschrieben. Der zweite, spezifische Name (oder griech. epitheton) wird klein geschrieben. Zum Beispiel ist *Canis lupus*, der Grauwolf, eine Art der Gattung *Canis*, der Hundeartigen. Der wissenschaftliche Artname wird in gedruckten Texten immer *kursiv* geschrieben. Der Begriff der Art kann in seiner Wichtigkeit als Basis der wissenschaftlichen Kommunikation, Einheit in der Ökologie, Biodiversitätsforschung, der Gesetzgebung, dem Arten- und Naturschutz, der angewandten Biologie und nicht zuletzt in der Klimafolgenforschung kaum überschätzt werden. Die biologische Art ist folglich einer der am meisten benutzten Begriffe in der Biologie, aber gleichzeitig leider auch einer der am stärksten umstrittenen, was zu diversen Problemen führt. So hängt zum Beispiel die scheinbar simple, aber bisher unbeantwortete Frage, wie viele Arten es auf der Erde gibt, nicht zuletzt von der Artdefinition ab und kann sich dem entsprechend um Größenordnungen unterscheiden. Um bei den Hundeartigen zu bleiben: die Anzahl der Arten in dieser Gattung hängt davon ab, ob man, je nach verwendetem Konzept, den Haushund als eigene Art (*Canis familiaris*), Unterart (*Canis lupus familiaris*) oder eben als Wolf (*Canis lupus*) sieht.

Während bei den anderen taxonomischen Rängen (wie Gattung, Familie, Ordnung etc.) klar ist, dass ihre Einteilung, abgesehen von dem Kriterium der gemeinsamen, exklusiven Abstammung (Monophylie), auf mehr oder weniger willkürlichen Entscheidungen von Taxonomen beruhen, geht die Mehrheit der Biologen zur Zeit davon aus, dass die Art eine gewisse objektive Realität hat. Trotzdem bereitet der Begriff Probleme auf mehreren Ebenen: der Definition, was eine Art überhaupt ist, wie man eine Art von einer anderen

abgrenzt und schließlich, wie man ein gegebenes Individuum einer bestimmten Art zuordnet.

Wie kommt es überhaupt, dass wir individuelle Organismen Arten zuordnen?

Die allermeisten Menschen sind in der Lage, verschiedene Organismen in ihrer Umgebung spontan in Gruppen einzuteilen, die oft gut anerkannten Arten entsprechen. So haben die wenigsten Menschen Schwierigkeiten, die Anzahl der Vogelarten in ihrem Garten korrekt zu benennen (wenn sie auch vielleicht deren Namen nicht kennen). Biologiestudenten in Bestimmungsübungen sind auch bei komplexen Proben von Arten, die sie noch nie zuvor gesehen haben (wie z.B. von Bodenorganismen) erstaunlich gut darin, die Vielzahl der verschiedenen Organismen auf Grund ihrer Erscheinung eher mehr als weniger richtig in Gruppen einzuteilen, die beschriebenen Arten entsprechen. Diese Fähigkeit scheint auch kulturell unabhängig zu sein, denn eine ähnliche Beobachtung machte Ernst Mayr im letzten Jahrhundert bei seinen Reisen in Südostasien: die von ihm erkannten Vogelarten waren zum allergrößten Teil auch den Einwohnern als unterschiedliche Arten bekannt und mit einem jeweils eigenen Namen belegt (MAYR 1942).

Das systematische Einteilen der Natur in Kategorien, also Taxonomie zu betreiben, ist also offenbar sowohl eine angeborene Fähigkeit als auch ein grundlegendes menschliches Bedürfnis. Es ist wahrscheinlich aus der Notwendigkeit entstanden, angesichts der unendlichen Fülle und Variation des Lebens andere Organismen schnell und zuverlässig hinsichtlich ihrer potentiellen Gefährlichkeit, ihrer Tauglichkeit als Nahrung, Sexualpartner etc. einteilen zu müssen, um entsprechend reagieren zu können. Eine sinnvolle Reduktion der organismischen Komplexität in der Umgebung eines Organismus führt wahrscheinlich zu einer höheren evolutionären Fitness, d.h. Organismen, bei denen diese Fähigkeit erblich war, haben eher überlebt und/oder mehr Nachkommen gezeugt. In gewissem Maße kategorisieren so wohl alle sinnesbefähigten Lebewesen andere Lebewesen mehr oder weniger fein, betreiben also auch eine Art von Taxonomie. Entspre-

chend dürfte die menschliche Tendenz, ähnliche Lebewesen hinsichtlich ihrer Ähnlichkeit einer begrenzten Anzahl von Kategorien zu zuordnen, bereits vorsprachlich und dementsprechend tief verankert sein. Und da wir als Primaten »Augentiere« sind, also von allen Sinnen dem Sehen die höchste Priorität geben, sind optisch wahrnehmbare Merkmale wie die äußere Form und Farbe für uns primäre Kriterien für eine taxonomische Kategorisierung. Die wissenschaftlich relevante Frage ist aber, ob diese für uns fraglos nützlichen Kategorien auch Entsprechungen in der objektiven Realität haben, d.h. ob Arten auch ohne uns als Beobachter als reale Einheiten in der Natur existieren.

Der Artbegriff im Wandel der Zeit

In den ältesten wissenschaftlichen Abhandlungen z.B. bei Aristoteles war eine Art lediglich ein Individuum, welches als repräsentativ für eine Gruppe ähnlicher oder nahezu identischer anderer Organismen angesehen wurde. Dies beinhaltete darüber hinaus keine Aussage über das Verhältnis dieser Gruppen zu anderen solchen Gruppen oder darüber, wie diese Gruppe zustande kommt und wie sich das Verhältnis ihrer Mitglieder darstellt.

Im Zuge des Aufkommens wissenschaftlichen Denkens in der frühen Neuzeit wurden auch in der Biologie Begriffe definiert. So wurde als notwendiges Merkmal der Art im Jahre 1686 von JOHN RAY »... *mir fällt kein sichereres Kriterium für die Bestimmung von Arten ein als die unterscheidenden Merkmale, die sich bei der Vermehrung durch Samen erhalten. Denn, unabhängig welche Variationen in Individuen auftreten, wenn sie aus dem Samen ein und derselben Pflanze entstehen, sind es nichts als zufällige Variationen und unterscheiden so keine Arten... Auch Tiere, die sich artlich unterscheiden erhalten diese Unterschiede permanent; eine Art entsteht nie aus dem Samen einer anderen oder umgekehrt*« erkannt (RAY 1686). Damit gab er dem Abstammungsprinzip eine zentrale Stellung im biologischen Denken und beeinflusste insbesondere Linnaeus, der seiner Klassifikation gemeinsame physische Merkmale zugrunde legte. Da aber nicht alle Mitglieder einer Art notwendigerweise einen gemeinsamen Vorfahren haben, der ebenfalls dieser Art angehört, sondern dieser durchaus noch zu einer Vorgängerart gehört haben kann, ist dieses Prinzip zwar notwendig aber nicht hinreichend, um eine Art zu definieren.

Lange Zeit galt eine Art als distinkt und unwandelbar. Abweichungen von dieser »Essenz« oder »Idee« einer Art galt als Imperfektion. Dies wird im Typuskonzept von Carl von Linné deutlich, wo ein (möglichst typisches) Individuum zum Maßstab (Typusexemplar) für die Art erklärt wurde (und wird) und sich die Art-

zugehörigkeit anderer Individuen nach dem Grad der Abweichung von dieser Norm darstellte. Wie groß diese Abweichung allerdings sein kann, ohne dass man eine andere Art postulieren muss, ist diesem Konzept nicht zu entnehmen (MALLETT 2007). Schon beim Geschlechtsdimorphismus d.h. den Fällen, in denen sich wie bei Stockenten Männchen und Weibchen einer Art systematisch unterscheiden, wird die Grenze des Konzepts deutlich.

Erst gegen Ende des 18. Jahrhunderts hielt die Idee allgemein Einzug, dass Arten sich in Zeit und Raum verändern können, was den Fokus vom ob auf das wie sich Arten verändern verschob. JEAN-BAPTISTE LAMARCK entwickelte 1809 aus seinen Beobachtungen eine schlüssige Evolutionstheorie, nach der erworbene Eigenschaften dauerhaft erblich an die Nachkommen weitergegeben werden, die einzig den Nachteil hat, falsch zu sein (DE MONET CHEVALIER DE LAMARCK 1809). CHARLES DARWIN und ALFRED WALLACE entwickelten dann in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts das heutige Paradigma, welches auf dem unterschiedlichen Fortpflanzungserfolg von verschiedenen erblichen Varianten beruht und somit Selektion als zentralen Bestandteil der Diversifizierung erkannt hat (DARWIN, WALLACE 1858). Interessanterweise hat Darwin jedoch auf eine Artdefinition verzichtet, ja sie sogar, wie weiter unten ausgeführt, explizit als sinnlos abgelehnt (DARWIN 1859).

Das in der Biologie meist verwendete Artkonzept ist das biologische Artkonzept, welches auf ERNST MAYR und THEODOSIUS DOBZHANSKY zurückgeht (MAYR 1942). Es definiert Arten als »Gruppen natürlichen Populationen zwischen denen es tatsächlich oder potentiell erfolgreiche Paarungen gibt und die von anderen solchen Gruppen reproduktiv isoliert sind«. Abgesehen davon, dass diese Definition nur für sich sexuell fortpflanzende Arten gelten kann und somit für den größeren Teil der Biodiversität (z.B. viele einzellige Eukaryoten, Algen, Bakterien) nur beschränkt verwendet werden kann, verschiebt es den Fokus von einer Eigenschaft des Organismus auf den Ausgang einer in den meisten Fällen hypothetischen Interaktion zwischen zwei Individuen. Da die einzige objektive Grenze für reproduktive Isolation ihre Vollständigkeit ist, müssten alle Populationen, zwischen denen es erfolgreiche natürliche Paarungen gibt, konsequenterweise als eine Art geführt werden. So wäre z.B. die Trennung von Eisbär und Braunbär nicht zu halten, da sie natürliche, fruchtbare Hybride hervorbringen.

Ähnlich weit verbreitet ist das phylogenetische Artkonzept. Hierbei ist eine Art eine evolutionäre Linie, die durch einen einzigartigen, gemeinsamen Satz an Merkmalen, die im Laufe ihrer gemeinsamen Evolution

entstanden sind, gekennzeichnet ist. Das Problem mit dieser Definition ist, dass mit zunehmender Menge der verwendeten Eigenschaften, z.B. die Anzahl der Basen bei DNA-Markern, sich zwangsläufig zunehmend mehr solcher Gruppen definieren lassen und es kein objektives Kriterium gibt, wo eine Grenze zu ziehen ist. Die Folge wäre eine fast unbegrenzte Anzahl an Arten.

Es gibt noch eine Vielzahl an alternativen Artkonzepten, wie z.B. das Clusterartkonzept, das ökologische Artkonzept und das integrierte Artkonzept, auf die hier nicht eingegangen werden kann. Alleine ihre Zahl und schwankende Beliebtheit zeigt, dass offenbar kein Konzept genügend Überzeugungskraft aufweist, um zu einem Konsensus unter Biologen zu gelangen. Es ist also in mehr als 300 Jahren intensiver Beschäftigung mit dem Phänomen der Art nicht gelungen, eine allgemein akzeptierte wissenschaftliche Definition für die Art zu finden.

Anforderungen an eine wissenschaftliche Artdefinition

Aus wissenschaftlicher und gesellschaftlicher Sicht wäre jedoch eine umfassende Definition wünschenswert, welche die existierende Vielfalt an lebenden Organismen unabhängig von Zeit und Raum nach *objektiven, natürlichen und universellen* Kriterien *eindeutig* in fundamentale Gruppierungen einteilen könnte, um sich über sie zu verständigen. Objektiv bedeutet in diesem Zusammenhang, dass jeder Beobachter, der die gleichen Dinge misst und die gleichen Kriterien anlegt, auch zu dem gleichen Ergebnis kommen sollte. Natürlich meint, dass das Kriterium eine inhärente und für diese Kategorisierung essentielle Eigenschaft des betrachteten Einzelfalls sein sollte. Universell wäre ein Kriterium, dass sich auf alle existierenden Fälle anwenden ließe. Eindeutig ist ein Kriterium, wenn der Einzelfall dadurch einer und nur einer Kategorie zugeordnet werden kann.

Die Wissenschaft der Chemie liefert zum Beispiel mit der Definition der chemischen Elemente so eine Einteilung: Ein chemisches Element umfasst alle Atome mit einer bestimmten Anzahl an Protonen im Kern. Die Anzahl der Kernprotonen als Einteilungskriterium ist objektiv, weil die Anzahl der Protonen eines Atoms beobachterunabhängig bestimmt werden kann. Dieses Kriterium ist natürlich, weil jedes Atom notwendigerweise Protonen enthält, deren Anzahl die Möglichkeiten der chemischen Bindungen, die ein Atom eingehen kann und damit seine Eigenschaften bestimmt. Und es ist universell, weil jedes Atom im Universum aufgrund der Zahl seiner Protonen eindeutig einem Element zugeordnet werden kann. Es gibt wenig Zweifel daran, dass chemische Elemente ein

fundamentales Phänomen sind, das unabhängig vom menschlichen Betrachter existiert.

Die empirische Beweislage

Bis vor wenigen Jahrzehnten war man bei den Merkmalen zur Unterscheidung von Organismen auf die makro- bzw. mikroskopische Ebene angewiesen und hat Arten, unabhängig von der verwendeten Definition, ausschließlich anhand dieser Merkmale eingeteilt. Das hat im Sinne der o.g. Anforderungen an solche Merkmale eindeutige Nachteile. So sind z.B. Merkmale, die nur sprachlich beschrieben werden können (Tibiagelenk von Art x ist mehr gerundet als das von Art y und z) von der Erfahrung des Betrachters abhängig und damit nicht objektiv. Andere, messbare äußere Merkmale sind oft in ihrer Ausprägung von der konkreten Umwelt abhängig, in der der Organismus sich entwickelt hat und damit für dessen Existenz nicht essentiell. Es ist oft sehr schwierig, nachzuweisen, welche Merkmale in Ihrer Ausprägung von der Umwelt bestimmt sind und welche erblich. Dazu kommt, dass ein und dasselbe Merkmal von beiden Komponenten beeinflusst werden kann. Schlussendlich wird kein phänotypisches Merkmal von allen Lebewesen geteilt, bzw. sind sie so unspezifisch wie z.B. das Vorhandensein eines Energiestoffwechsels, dass entweder Universalität oder Eindeutigkeit nicht gegeben sind. Bleibt also als mögliche Eigenschaft für eine Artdefinition das, was Ray schon als essentielle Eigenschaft einer Art erkannt hat, nämlich das, was zwischen Generationen weitergegeben wird, das Genom. Anhand der darauf gespeicherten Informationen (Genotyp) entsteht im Zusammenwirken mit der Umwelt im weitesten Sinne der Organismus (Phänotyp). Der Informationsgehalt von Genomen, d.h. deren Basenabfolge kann vollständig und reproduzierbar bestimmt werden, ist also objektiv feststellbar. Und das nicht nur theoretisch; die Möglichkeit, das Genom aller Organismen von Interesse vollständig zu sequenzieren ist sowohl logistisch wie finanziell in greifbare Nähe gerückt. Erstmals ist es möglich, die evolutionäre Geschichte einer Gruppe von Individuen nicht nur anhand kleiner, ausgewählter Bereiche des Genoms zu untersuchen, sondern sie in ihrer Gesamtheit und Komplexität zu erfassen.

Ein Genom ist essentiell für die Existenz eines jeden Organismus, da es notwendigerweise seiner Entwicklung zugrunde liegt und dieser ohne ein solches nicht überleben kann. Es bestimmt weiterhin im Zusammenspiel mit der Umgebung die Eigenschaften des Organismus: aus einem Genom eines Fadenwurms kann keine Fliege und kein Elefant, sondern nichts anderes als ein Fadenwurm entstehen, ungeachtet der eher feinen Unterschiede, die sich durch die Entwicklung des gleichen

Genoms in unterschiedlichen Umgebungen ergeben können. Sein Genom ist in diesem Sinne die Essenz eines jeden Organismus, auf den seine Existenz, seine wichtigsten Eigenschaften und die Grenzen seiner prinzipiellen Möglichkeiten zurückgeführt werden können. Das Genom genügt somit auch der Anforderung der Natürlichkeit. Und es ist wahrhaft universell: alle uns bekannten Lebewesen haben ein Genom. Bis jetzt wäre das Genom also ein ideales Merkmal, um eine Art zu bestimmen – wäre da nicht die Anforderung, einen Organismus anhand dieses Merkmals eindeutig einer und nur einer Art zuordnen zu können.

Einfach wäre es, wenn das Genom bei allen Individuen einer Art gleich wäre. Da aber spontane Mutationen im Genom, die zu Variationen auf genomischer und phänotypischer Ebene führen, unvermeidlich sind, führen sie dazu, dass keine zwei Individuen (auch keine eineiigen Zwillinge) exakt das gleiche Genom haben. Da Mutationen zufällig sind und an jeder beliebigen Stelle im Genom auftreten können, ist von diesem Prozess auch kein Bereich des Genoms ausgenommen. Deswegen gibt es auch keine Eigenschaft und keinen Bereich des Genoms, die prinzipiell völlig unveränderlich ist, egal, ob es sich um nicht-sexuell oder sexuell fortpflanzende Arten handelt. Diese Variationen sind die Basis für Evolution und damit auch letztendlich für die Vielfalt der Organismen verantwortlich.

Variable Genome wären kein Problem, wenn sich die Genome einer Art wenigstens auf eine exklusive Vorgängersequenz zurückführen ließen, die sich durch

zufällige Mutationsansammlung von allen anderen Arten unterscheidet, was eine eindeutige Zuordnung jedes Individuums ermöglichen würde. Das wäre der Fall, wenn Arten, wie im biologischen Artkonzept angenommen, innerhalb einer begrenzten Zeitspanne entstünden und danach mit anderen Arten keinerlei genetisches Material mehr austauschen würden (Abb. 1.2-1A). Bei diesem Modell würde sich der Stammbaum des Lebens einfach immer weiter verzweigen und die entstehenden Äste nie mehr in Kontakt kommen.

Artbildung ist aber oft ein zeitlich sehr ausgedehnter Vorgang, bei der reproduktive Isolation nur sehr langsam und weder zwangsläufig noch überall entsteht. Gerade die räumliche Komponente spielt für die Diversität bzw. Kohärenz der Genome einer Art eine wichtige Rolle. Bei weit verbreiteten Arten sehen sich die Individuen aus benachbarten Populationen meist sehr ähnlich und können problemlos als zur selben Art erkannt werden. Die Ähnlichkeit nimmt aber oft mit der Entfernung ab, so dass man Individuen aus entfernteren Populationen durchaus für eine andere Art halten kann. Das liegt an teilweise unterschiedlichen Anpassungen an die lokalen Gegebenheiten, aber auch einfach daran, dass der Austausch von genetischem Material über große Entfernungen relativ zur Ausbreitungsfähigkeit der Art nur langsam und über dazwischen liegende Populationen erfolgen kann und sie sich deshalb auseinander entwickeln. Im Extremfall kommt es zu so genannten Ringarten, bei denen sich die Populationen z.B. der Silbermöwe von Europa nach Osten gehend graduell so

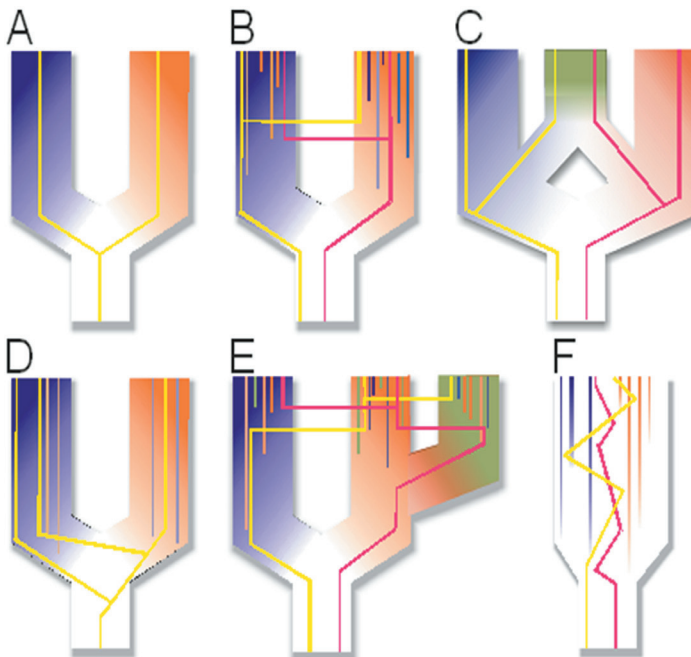


Abb. 1.2-1: Schematische Darstellung. Blau, Orange, Grün: Differenzierte Genomteile. Weiß: Undifferenzierte Genomteile. Gelbe, bzw. magentafarbene Linien: typische Stammlinienverläufe von einzelnen Genomteilen. **A:** Artbildung vollständiger reproduktiver Isolation. Die Genome bleiben komplett differenziert. **B:** Artbildung mit Hybridisierung. Einzelne Genomteile stammen aus der jeweils anderen Art. **C:** Artbildung durch Hybridisierung. **D:** Unvollständige Liniensortierung. Einzelne Genomteile sind der jeweils anderen Art ähnlicher, weil die Aufspaltung der Linien vor der Artbildung stattgefunden hat. **E:** Austausch von Genomteilen durch eine intermediäre Art. Weil die mittlere Art mit beiden anderen Arten hybridisiert, können die beiden äußeren Arten Teile des Genoms austauschen, obwohl sie selbst keinen Kontakt haben. **F:** Artbildung mit Genaustausch. Nur wenige relevante Teile des Genoms differenzieren sich, der Rest wird weiterhin ausgetauscht.

weit verändern, dass die Populationen, die aus Amerika kommend in Westeuropa auf ihre Verwandten treffen, anders aussehen, sich dort wie eine andere Art verhalten, sich nicht paaren und auch einen eigenen Namen haben, nämlich Heringsmöwe (BROWN 1967).

Während sich Populationen also langsam über viele Generationen auseinander entwickeln, kann es zum Teil über mehrere Millionen Jahre immer noch zum Austausch von genetischem Material zwischen den entstehenden Linien kommen. Das wiederum führt dazu, dass manche Individuen zumindest hinsichtlich einiger Bereiche des Genoms der jeweils anderen Linie ähnlicher sind als ihrer eigenen (Abb. 1.2-1B). Von solchen Hybridisierungen hat man lange angenommen, dass sie zumindest bei Tieren recht selten sind und nur eine Ausnahme darstellen. Mittlerweile ist aber klar, dass ein erheblicher Anteil der Tierarten und die meisten Pflanzen hybridisieren (SCHWENK et al. 2008). Und noch viel mehr haben das Potential dazu, wenn die Umstände passen. So bei Arten, die in ihren Ursprungsgebieten klar voneinander getrennt sind. Wenn sie jedoch beide in dasselbe Gebiet verschleppt werden, kann es zu einer Hybridisierung und sogar zur Bildung von neuen, stabilen Arten mit eigenen Eigenschaften kommen (Abb. 1.2-1C). So z.B. geschehen bei Bocksbartblumen (*Tragopogon*) und anderen (ARNOLD et al. 2012). Andere paaren sich zwar bevorzugt mit Individuen der eigenen Art, aber wenn Partner knapp sind, werden auch Partner anderer Arten akzeptiert, so z.B. bei Wolf und Kojote (SEEHAUSEN et al. 2008). Was im Weiteren dann zu einer Vermischung der Genome führt, je nachdem, mit wem sich die hybriden Nachkommen später selbst paaren. Und selbst wenn die Entstehung von vollständiger reproduktiver Isolation relativ schnell erfolgt, kommt es durch einen »unvollständige Liniensortierung« genannten Prozess oft dazu, dass Teile des Genoms von einigen Individuen einer Art über evolutionär lange Zeiträume den entsprechenden Teilen einer verwandten Art ähnlicher sind als mit denen anderer Individuen der eigenen Art (Abb. 1.2-1D, MORAN, KORNFELD 1993).

All das führt dazu, dass es zwischen den Genomen von nahe verwandten Arten sehr oft keine kategorischen Unterschiede gibt, sondern sich die Variabilität stark überlappt. Tatsächlich zeigen die in letzter Zeit entstandenen Genomvergleiche, dass das Genom vieler morphologisch und ökologisch klar unterscheidbarer Arten oft ein Mosaik mit unterschiedlichen Ursprüngen ist. Das beste Beispiel dafür ist das Genom des Menschen, zu dem für einige Populationen mindestens zwei andere Arten, der Neanderthaler und der Denisova-Mensch einen Beitrag geleistet haben (RACIMO et al. 2015). Ähnliche Befunde gibt es praktisch für alle Arten, die man bisher daraufhin untersucht hat, wie

Rabenkrähen (POELSTRA et al. 2014), Schnäpper (ELLEGREN et al. 2012) und Bären. Bei Letzteren konnte man sogar genomischen Austausch zwischen amerikanischem Schwarzbär und Malaienbär nachweisen, die wohl nie Kontakt hatten, die beide aber mit dem Krangebären hybridisieren, der quasi als Genfahre dient (Abb. 1.2-1E).

In extremen Fällen zeigt sich, dass überhaupt nur eine sehr geringe genomische Differenzierung notwendig ist, um morphologisch wie ökologisch klar voneinander abzugrenzende Arten hervorzubringen. So sind z.B. äußerlich und durch ihre Fähigkeit, hochgiftigen Schwefelwasserstoff zu ertragen, stark voneinander differenzierte Populationen von Kärpflingsfischen bekannt, die man problemlos als Art beschreiben könnte. Dabei unterscheiden sie sich nur in ca. 1% des Genoms von ihren „normalen“ Gattungsgenossen. Mehr als 99% des Genoms werden jedoch mit ihnen ausgetauscht, was die Bedeutung von genomweiter reproduktiver Isolation für die Artbildung in Frage stellt (Abb. 1.2-1F, PFENNINGER et al. 2015).

Die sexuelle Fortpflanzung, bei der die Genome der Eltern durch einen Rekombination genannten Prozess vermischt werden, fördert bzw. ermöglicht den Austausch von genetischem Material zwischen evolutionären Linien, weil es der natürlichen Selektion erlaubt, essentielle von nicht so wichtigen Teilen des Genoms zu trennen. Aber auch nicht-sexuelle Arten wie Bakterien tauschen über Artgrenzen hinweg genetisches Material aus. Und das offenbar schon seit mehreren Milliarden Jahren, so dass eine Rekonstruktion der ersten Verzweigungen im Baum des Lebens anhand ihrer Genome praktisch unmöglich ist, weil deren verschiedene Teile unterschiedliche Verwandtschaftsbeziehungen und Verzweigungen haben (PUIGBO et al. 2009).

Die Metapher eines sich einfach immer nur weiter verzweigenden Baum des Lebens ist daher offenbar weitgehend falsch. Die Abstammungslinien verschiedener Teile eines Genoms gleichen teilweise eher einem verschlungenen Netzwerk und können sich von Individuum zu Individuum stark unterscheiden, obwohl sie derselben Population angehören und sie miteinander Nachwuchs hervorbringen. Die Zuordnung von Individuen zu Arten ist deshalb in vielen Fällen bis zu einem gewissen Grad willkürlich.

Schlussfolgerungen für den Artbegriff

Die Argumente für die Beibehaltung der Art als fundamentale Einheit der Biologie sind weitgehend an der Nützlichkeit orientiert, doch die Notwendigkeit eines Artbegriffs in der Biologie im Allgemeinen und der Ökologie im Besonderen, der Artenschutzgesetzgebung und -praxis, zum Testen von Hypothesen etc.

kann nicht bestritten werden. Andererseits ist es in den letzten fast 300 Jahren trotz intensiver Anstrengung der z.T. brillantesten Denker der Disziplin nicht gelungen, ein überzeugendes Artkonzept zu finden, das den in den Naturwissenschaften für Definitionen üblichen Kriterien entspricht und mit den empirischen Befunden übereinstimmt. Es ist deshalb Zeit, die unvermeidlich scheinende Schlussfolgerung zu ziehen, dass das Konzept der Art als objektivierbare wissenschaftliche Realität im o.g. Sinne nicht haltbar ist und gleichzeitig zu akzeptieren, dass wir diese Kategorisierung von Organismen trotzdem weiterhin benötigen und benutzen werden. Das ist soweit richtig und wissenschaftlich akzeptabel, wie das konkret benutzte operationelle Einteilungskonzept ausdrücklich dargestellt wird und man sich seiner Begrenztheit bewusst ist. Zu dem gleichen Schluss ist Darwin übrigens schon vor über 150 Jahren gekommen als er sagte: »*In short, we shall have to treat species in the same manner as those naturalists treat genera, who admit that genera are merely artificial combinations made for convenience. This may not be a cheering prospect; but we shall at least be freed from the vain search for the undiscovered and undiscoverable essence of the term species*« (p 485, DARWIN 1859).

Literatur

- ARNOLD, M. L., J. A. HAMLIN, A. N. BROTHERS et al. (2012): Natural hybridization as a catalyst of rapid evolutionary change. Rapidly evolving genes and genetic systems. 256-265.
- BROWN, R. G. B. (1967): Species isolation between the Herring gull *Larus argentatus* and lesser black-backed gull *L. fuscus*. Ibis 109:310-317.
- DARWIN, C. (1859): The origin of species by means of natural selection or the preservation of favoured races in the struggle for life. John Murray, London.
- DARWIN, C. & A. R. WALLACE (1858): On the Tendency of Species to form Varieties; and on the Perpetuation of Varieties and Species by Natural Means of Selection. Proceeding of the Linnean Society 3:45-62.
- DE MONET CHEVALIER DE LAMARCK, J. (1809): Philosophie Zoologique ou exposition des considérations relatives à l'histoire naturelle des animaux. Museum d'Histoire Naturelle (Jardin des Plantes), Paris.
- ELLEGREN, H., L. SMEDS, R. BURRI et al. (2012): The genomic landscape of species divergence in *Ficedula* flycatchers. Nature 491:756-760.
- MALLET, J. (2007): Species, concept of. In: Levin SA (ed) Encyclopedia of Biodiversity, 2nd edition edn. Elsevier, Amsterdam.
- MAYR, E. (1942): Systematics and the Origin of Species. Dover Publications, New York.
- MORAN, P. & I. KORNFIELD (1993): Retention of an ancestral polymorphism in the Mbuna species flock (Teleostei, Cichlidae) of Lake Malawi. Mol. Biol. Evol. 10:1015-1029.
- PFENNINGER, M., S. PATEL, L. ARIAS-RODRIGUEZ et al. (2015): Unique evolutionary trajectories in repeated adaptation to hydrogen sulphide-toxic habitats of a neotropical fish (*Poecilia mexicana*). Mol. Ecol. 24:5446-5459.
- POELSTRA, J. W., N. VIJAY, C. M. BOSSU et al. (2014): The genomic landscape underlying phenotypic integrity in the face of gene flow in crows. Science 344.
- PUIGBO, P., Y. I. WOLF & E. V. KOONIN (2009): Search for a 'Tree of Life' in the thicket of the phylogenetic forest. Journal of Biology 8:1-17.
- RACIMO, F., S. SANKARARAMAN, R. NIELSEN et al. (2015): Evidence for archaic adaptive introgression in humans. Nature Reviews Genetics 16:359-371
- RAY, J. (1686): Historia plantarum Faithorne, London.
- SCHWENK, K., N. BREDE & B. STREIT (2008): Introduction. Extent, processes and evolutionary impact of interspecific hybridization in animals. Philos. Trans. R. Soc. B-Biol. Sci. 363:2805-2811.
- SEEHAUSEN, O. L., G. TAKIMOTO, R. ROY et al. (2008): Speciation reversal and biodiversity dynamics with hybridization in changing environments. Mol. Ecol. 17:30-44.

Kontakt:

Prof. Dr. Markus Pfenninger
Senckenberg Biodiversität und Klima
Forschungszentrum, Frankfurt am Main
Pfenninger@bio.uni-frankfurt.de

Pfenninger, M. (2016): Artbegriff im Wandel der Zeit. In: Lozán, J. L., S.-W. Breckle, R. Müller & E. Rachor (Hrsg.). Warnsignal Klima: Die Biodiversität. pp. 26-31. Online: www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de. doi:10.2312/warnsignal.klima.die-biodiversitaet.04.