

In der Praxis bewährt, aber unscharf definiert

Was ist eine Art?

WERNER KUNZ

Jeder von uns, der Tiere und Pflanzen anschaut, glaubt zu wissen, dass es in der Natur Arten gibt. Unterzieht man die gängigen Artbegriffe jedoch einer kritischen Prüfung, so erkennt man in jeder Definition letztlich Konflikte und Widersprüche. Eigentlich gilt immer noch der Satz Darwins aus dem Jahre 1859: „Keine Definition der Art hat bisher alle befriedigt, obwohl jeder Naturwissenschaftler zu wissen glaubt, was er meint, wenn er von einer Art spricht.“

Unser wesensschauendes Bewusstsein vermittelt uns intuitiv den Eindruck, dass die Lebewesen auf der Erde nicht nur als Individuen vorkommen, sondern dass auch übergeordnete Einheiten real in der Natur existieren, die wir „Arten“ nennen. Diese waren nicht von Anfang an da, wie Linné noch annahm, sondern werden seit Darwin als Einheiten betrachtet, die insbesondere durch Selektion entstanden sind („The origin of species“) und von denen wir glauben, dass sie sich durch Selektion weiterentwickeln. Aber können Arten überhaupt durch Selektion entstehen? Hat Darwin mit der Erkenntnis, dass Arten nicht von Anfang an als fertige Objekte geschaffen wurden, nicht gleichzeitig die Art als autonom existierendes Objekt abgeschafft? Als der junge Ernst Mayr bei einer Expedition in Neuguinea 138 Vogelarten identifizierte, stellte er fest, dass der einheimische Stamm der Papuas 137 davon einen eigenen Namen gegeben hatte [12]. Das mag für die Objektivität der Art überzeugend klingen, sollte einen kritischen Wissenschaftler aber stutzig machen. Intuitive „Volksbiologie“ ist kein Wahrheitskriterium. Wissenschaftliches Denken muss ein theoretisches Konzept haben, auf dessen Basis eine Aussage als richtig oder falsch eingestuft werden kann.

Das merkmalsbezogene Artkonzept

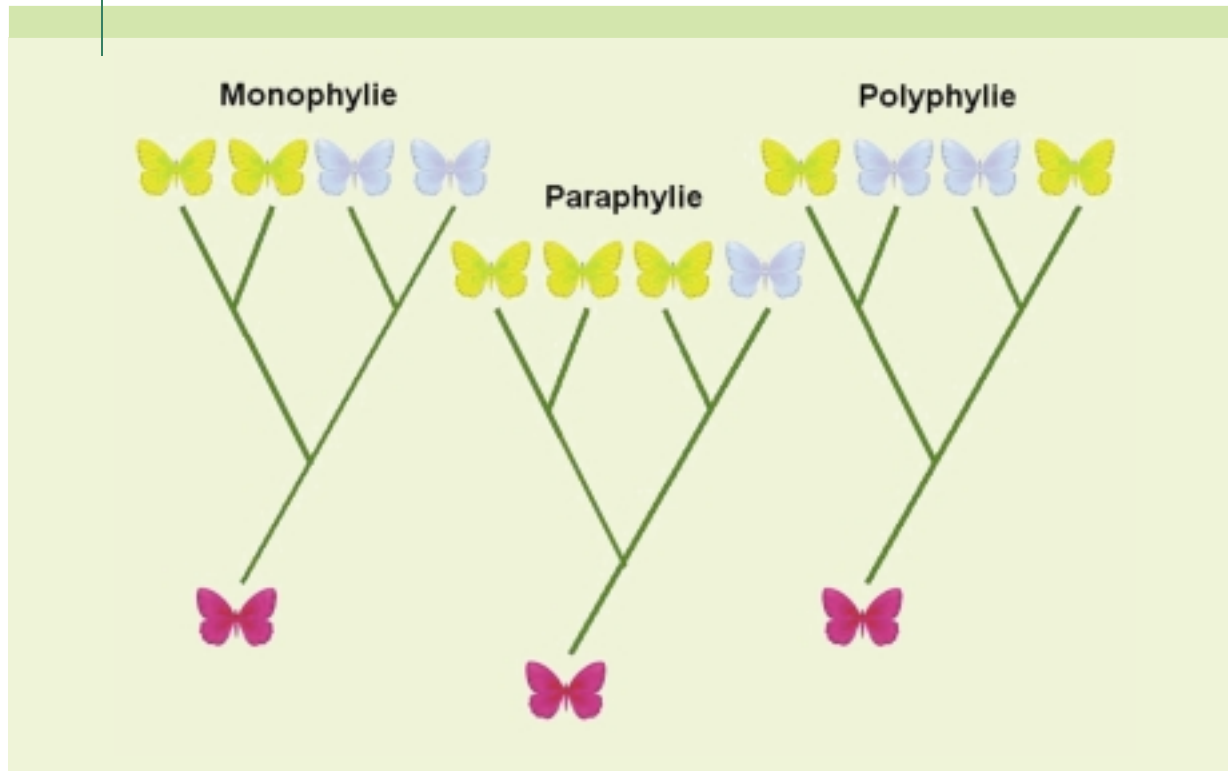
Es ist möglich, durch befundgetreues, unvoreingenommenes Aufzeigen und Beschreiben der gegebenen Phänomene die Organismen nach ihrer Merkmalsähnlichkeit einzuteilen. Dieses Vorgehen ist jedoch aus mehreren Gründen nicht sinnvoll. Obwohl das Verfahren reproduzierbar, also wissenschaftlich legitim ist, beruht sowohl die Auswahl der Einteilungsmerkmale als auch die weitere Prozessierung der Daten auf subjektiven Entscheidungen der

Person, die diese Untersuchungen vornimmt. Es gibt keine objektiven, allgemein anerkannten Kriterien für die Qualität und das Maß an Ähnlichkeit, die nötig wären, um zwei Objekte derselben Art zuzuordnen [19]. Eine merkmalsbezogene Ordnung der Organismen kann daher nicht als wissenschaftlich objektiv betrachtet werden; denn der Systematiker wählt solche Merkmale, die für seine subjektiven Diagnosezwecke geeignet sind. Welche Merkmale herangezogen werden, hängt auch von der technischen Entwicklung und dem Auflösungsvermögen der verfügbaren Messmethoden ab. Sind beispielsweise Merkmale, die nur elektronenmikroskopisch oder mittels biochemischer oder molekularer Methoden, also nur mit aufwendigen Techniken wahrnehmbar sind, gleichwertig jenen, die man mit bloßem Auge ohne apparative Hilfen sehen kann? Reicht ein einziges Pheromonmolekül, an dem sich beispielweise Nachtfalter auseinanderhalten, aus, um von verschiedenen Arten zu sprechen? Solange die Gliederung in Arten nicht auf einer wissenschaftlichen Theorie beruht, sondern auf der Feststellung von unbewerteten Merkmalen, resultiert daraus letztlich eine nicht endende und biologisch sinnlose taxonomische Aufsplitterung, die sich zudem mit dem Fortschritt der Technik ständig ändert, wenn man nicht rechtzeitig willkürliche Grenzen setzt. Eine Einteilung nach (unbewerteten) Merkmalen kann allenfalls als Startpunkt für weitere Analysen dienen; dies erschöpft jedoch schon den wissenschaftlichen Wert einer merkmalsorientierten Systematik.

Das cladistische Artkonzept

Die Organismen werden jedoch seit Darwin nicht mehr in homogene oder gar gleichgroße biologische Taxa gruppiert, weil ein „natürliches“ System angestrebt wird, das den Stammbaum reflektiert. Das cladistische System beruht auf der Verzweigung (Cladogenese). Die Grundsätze der Cladistik wurden erstmals von Hennig [6] klar formuliert. Danach soll jede systematische Gruppierung (Gattung, Familie, Ordnung) **monophyletisch** sein, das heißt sie muss alle Nachfahren ihrer letzten gemeinsamen Stammart enthalten. Gruppierungen, die zwar auf einen jüngsten gemeinsamen Vorfahren zurückgehen, aber nicht alle Nachfahren dieser Stammart enthalten, bezeichnet man als **paraphyletisch**. Gruppierungen, die aus untereinander nicht nächstverwandten Taxa bestehen, sind **polyphyletisch** (Abbildung 1). Gruppiert man die Organismen nach ihrer Ähnlichkeit, so resultiert daraus eine paraphyletische Gruppe; Vettern gehören dann enger zusammen als Ge-

ABB. 1 | UNTERSCHIEDLICHE SYSTEMATISCHE GRUPPIERUNG VON ORGANISMEN



Vereinigt man alle Nachfahren einer Stammart zu jeweils einer Gruppe, so nennt man das System monophyletisch. Gruppiert man die Organismen nach ihrer Ähnlichkeit, so resultiert daraus eine paraphyletische Gruppe, wenn sie zwar auf einen Vorfahren zurückgehen, aber nicht alle Nachfahren dieser Stammart enthalten. Gruppierungen ähnlich aussehender Organismen, die aus untereinander nicht nächstverwandten Taxa bestehen, sind polyphyletisch.

schwister. So werden auch heute noch in den meisten Lehrbüchern die Menschen und die Menschenaffen in zwei verschiedene Familien und die Vögel und Reptilien in zwei verschiedene Klassen eingeordnet, was keiner natürlichen Verwandtschaft entspricht.

Cladistische Spezies sind aus Stammbaumverzweigung heraus entstandene „Nester“ von Organismen, die ausschließlich durch qualitative evolutionär neu entwickelte Merkmale (Synapomorphien) definiert sind. Hier wird schon das erste Problem deutlich, denn auch das cladistische Konzept ist ein merkmalsbezogenes Artkonzept. Da evolutionäre Merkmalsveränderungen mit unterschiedlicher Geschwindigkeit ablaufen, haben auf Synapomorphien beruhende Abgrenzungen zur Folge, dass weder die Aufzweigungen noch ihre Endpunkte miteinander vergleichbare Distanzen haben. Die **Cladogenese** (das ist die Aufzweigung der Linien) und die **Anagenese** (das ist das Ausmaß der Merkmalsveränderung) sind nicht miteinander korreliert. Ihre Beziehung zueinander ist nicht normalisiert. In der Evolution können rasch aufeinander folgende Verzweigungen mit nur geringfügigen anagenetischen Veränderungen verbunden sein, und umgekehrt können sich beträchtliche Merkmalsveränderungen abspielen, ohne dass es zu nennenswerten Verzweigungen kommt. Daher koexistieren Organismen mit langfristig unveränderten alten Merkmalen Seite an Seite mit solchen, die sich rasch verändert und weiterentwickelt haben. Eine Einteilung der Organismen nach äquivalenten Distanzen würde nicht die phylogenetische Signifikanz des Stammbaums widerspie-

geln. Wenn beispielsweise eine Gruppe von Organismen sich durch geografische Isolation am Rande des Verbreitungsgebietes peripher abspaltet und gegenüber der Stammart eigene apomorphe Merkmale entwickelt, so ist diese neu entstandene Art mit dem geografisch benachbarten Teil ihrer Stammart näher verwandt als dieser Teil mit dem Rest seiner eigenen Art. Das führt entweder zur Entscheidung, eine „paraphyletische Artbildung“ zu akzeptieren, oder es müssen alle monophyletische Clade innerhalb der Stammart als eigene Arten gegeneinander abgegrenzt werden, auch wenn sie sich fast gar nicht voneinander unterscheiden. Es ist unmöglich, die Organismen nach ihrer Verwandtschaft und gleichzeitig nach ihrer Ähnlichkeit in einem einzigen System zu vereinigen. Ein Kompromiss ist nicht möglich. Allein dieser Faktor ist für viele Widersprüche in der Systematik verantwortlich.

Das „Biospezies“-Konzept

Jedes Lebewesen wird in seinen Merkmalen durch sein Genom gesteuert. Auch Geschwister weichen in ihren Genomen voneinander ab, weil die genetische Information, die in einer Population enthalten ist, größer ist als die Information, über die ein Individuum verfügt. Man nennt dies multiple Allelie, und da multiple Allelie Merkmalsvielfalt bedeutet, wird allein schon damit das Problem eingeleitet, wie man die auf multipler Allelie beruhende Vielfalt von der Artenvielfalt abgrenzt. Ich erinnere mich noch deutlich an ein lange zurückliegendes Gespräch mit Walter Koste, den seinerzeit weltbesten Rotatorien-Artenkenner, als er



ABB. 2 Ganshybrid und Elternarten. Kanadagans (*Branta canadensis*, oben) und Graugans (*Anser anser*, unten): Beide Arten, obwohl zu verschiedenen Gattungen gehörend, erzeugen gelegentlich Hybriden. In der Mitte ein intermediärer Hybrid, der die Merkmale beider Eltern trägt. Bilder: Andreas Buchheim, Susanne Homma

mir sagte: „Ich wollte, ich könnte meine Arten so leicht voneinander unterscheiden, wie wir uns an der Haarfarbe und Blutgruppe unterscheiden“. Solange neue Arten auf der Grundlage von nur wenigen untersuchten Individuen beschrieben werden, ist die Gefahr nicht auszuschließen, dass hier lediglich quantitative Unterschiede in der Allelhäufigkeit vorliegen, nicht wirklich qualitative Unterschiede. Es ist fast jedem bekannt, dass bestimmte Blutgruppen des Menschen bei bestimmten Völkern häufig

sind, bei anderen selten. Die Artbeschreibung an wenigen „Typen“ kann einen scheinbaren diagnostischen Merkmalsunterschied vortäuschen, dem in Wirklichkeit lediglich eine andere Allelverteilung zugrunde liegt.

Das maßgeblich auf Mayr [11] zurückgehende „Biospezies“-Konzept schien dieses Dilemma zu lösen, indem es Arten nicht nach Merkmalen einteilt, sondern die Art als eine abgegrenzte Gruppe von Individuen definiert, die untereinander ihre Gene austauschen, gegen Genvermischung mit anderen Gruppen aber durch verschiedene Mechanismen abgeschirmt sind. Mayrs Definition lautet folgendermaßen: „Eine Art ist eine in der Natur bestehende oder mögliche Sexualgemeinschaft, die von anderen solchen Gemeinschaften reproduktiv isoliert ist“. Das „Biospezies“-Konzept ist das einzige Artkonzept, das auch die Frage beantwortet, warum es in der Natur überhaupt Arten gibt. Betrachten wir nun die Stärken und Schwächen dieses Konzepts und sehen wir anschließend, warum auch dieses Artkonzept zu Konflikten führt, da es weder universal anwendbar ist noch einer rigorosen logischen Konsequenz standhält.

Bei jedem Sexualprozess werden die Gene im Genom neu gemischt. Entscheidend zum Verständnis des Biospezies-Begriffs ist, dass nicht nur die beiden Allele des diploiden Satzes aufeinander abgestimmt sein müssen, sondern auch die verschiedenen Allelvarianten eines Gens mit denen anderer Gene des Genoms. Die natürliche Auslese sorgt dafür, dass durch Mutation neu entstehende Allelvarianten ausgemerzt werden, wenn sie mit denen anderer Gene nicht zusammenpassen. Das „Biospezies“-Konzept besagt, dass die Gesamtheit der Individuen einer Biospezies eine sauber auf mögliche Genkombinationen ausbalancierte miteinander verbundene Fortpflanzungsgemeinschaft bildet, die trotz hoher Allelvielfalt ihre Identität besitzt. Wenn zwei Biospezies in demselben geographischen Raum nebeneinander leben (man nennt das sympatrische Verbreitung), so besitzen deren Individuen Mechanismen zur sexuellen Abgrenzung. Damit wird die genetische Rekombination zwischen den Genomen verschiedener Arten verhindert. Abweichend von der Mayr'schen Definition ziehe ich es vor, den Begriff der „reproduktiven“ Abgrenzung durch „sexuelle“ Abgrenzung zu ersetzen; denn Sexualität gibt es auch ohne Reproduktion.

Prä- und postzygotische Abgrenzungsmechanismen

Sexualbarrieren, welche die Befruchtung der Eizelle zwischen Arten und damit die Hybridbildung verhindern, nennt man **präzygotische** Abgrenzungsmechanismen. Präzygotische Abgrenzungen sind immer Eigenschaften der Organismen selbst (beispielsweise bestimmte Gefiedermerkmale, Balzbewegungen, Lautäußerungen, Kopulationshaltungen, Mechanik der Geschlechtsorgane, Duftlockstoffe oder Oberflächenmoleküle auf den Geschlechtszellen). Sie sind daher etwas ganz anderes als geographische Abgrenzungen (Allopatrien). Wenn zwei Po-

pulationen etwa auf zwei Inseln oder auch nur durch eine Autobahn voneinander isoliert sind, so dass es zwischen ihnen nicht zur sexuellen Rekombination kommen kann, so ist dies kein präzygotischer Abgrenzungsmechanismus; denn die Ursachen für die Isolation sind extern. Zu den präzygotischen Isolationsmechanismen gehören auch differierende Fortpflanzungszeiten im Jahresverlauf, unterschiedliche Biotopansprüche einschließlich der Wahl verschiedener Futterpflanzen durch phytophage Insekten sowie unterschiedliche Wirtsspezifitäten bei Parasiten.

Im Gegensatz zu einer verbreiteten Meinung, das Auftreten von Arthybriden spräche bereits gegen den Artstatus, beobachtet man auch im Freiland in begrenzter Zahl durchaus Nachkommen, die aus Kreuzungen verschiedener Biospezies hervorgehen. Meistens, aber nicht immer, sind solche Hybride in ihrer Vitalität oder Fruchtbarkeit eingeschränkt und daher im Konkurrenzkampf unterlegen. Das nennt man **postzygotische** Abgrenzung, da diese Phänomene erst nach bereits erfolgter Eizellenbildung zum Tragen kommen. Postzygotische Unverträglichkeiten können entwicklungsbiologische, verhaltensbiologische und andere Ursachen haben. Hybride können intermediäre Verhaltensmerkmale aufweisen, die bei der Partnerwahl und bei der Balz eine Rolle spielen und die dann von beiden reinerbigen Elternarten nicht verstanden werden. Daher haben die Hybride eine verminderte Chance, sich weiter fortzupflanzen, so dass die Rückkreuzung mit den Elternarten deutlich eingeschränkt ist. Beispielsweise kommen bei Enten und Gänsen zwischen vielen Arten Hybride auch in freier Natur vor (Abbildung 2). Dennoch bleibt der Genfluss zwischen diesen Arten gering.

Entwicklungsgenetisch handelt es sich bei der postzygotischen Isolation oft um einen epistatischen Effekt [16]. Unter Epistasie versteht man die Interaktion verschiedener, also „nicht-alleler“ Gene, die der phänotypischen Ausprägung ein und desselben Merkmals dienen. Ein Beispiel für Epistasie ist die Abhängigkeit der Expression eines Gens a von einem Transkriptionsfaktor, der von einem anderen Gen b (oft auf einem anderen Chromosom) kodiert wird und der dann auf den Promotor des Gens a passen muss, um das Gen korrekt anzuschalten. Innerhalb ein und derselben Biospezies stimmt die Selektion die epistatischen Gene aufeinander ab. Nach mutativer Veränderung überleben die Individuen, bei denen beide Gene durch co-evolutive Veränderung zueinander „ausbalanciert“ wurden. Vermischen sich aber die Individuen verschiedener Spezies miteinander, so geraten einzelne Gene in die genetische Umgebung eines nicht mehr abgestimmten Genoms. Solche „Zwischen-Locus-Interaktionen“ artfremder Gene miteinander sind bei Spezies-Hybriden niemals zuvor von der Natur in einem Genom zusammen „getestet“ und durch die Selektion kontrolliert worden; sie funktionieren daher oft nicht, führen zur Inkompatibilität und damit zur reduzierten Fertilität und Vitalität. Bei den nahe verwandten beiden Artenpaaren *Drosophila melanogaster*/ *D. simulans* und *D. melanogaster*/ *D. mauritiana* wurden in den letzten



ABB. 3 Silbermöwe und Heringsmöwe. Die Verbreitungsgebiete von Silbermöwe (*Larus argentatus*, oben) und Heringsmöwe (*Larus fuscus*, unten) kamen in der südlichen Nordsee vor weniger als hundert Jahren erstmals in Kontakt. Damals wurden Hybriden häufig beobachtet. Heute sind Mischpaare und Hybriden zwischen den beiden Arten sehr selten geworden.

In der Mitte eines der seltenen Belegstücke eines F1-Hybridnachkommen eines Mischpaares aus *Larus argentatus* (Männchen, oben) und *Larus fuscus graellsii* (Weibchen, unten). Die Altvögel wurden 1935 auf Vlieland/Holland gesammelt, der Hybrid lebte zehn Jahre lang im Zoo von Amsterdam.

Hybriden sind oft nicht phänotypisch intermediär, sondern können einer der Elternarten ähneln (wie hier in der Abbildung).

Bilder: Jan Kube, Norman van Swelm, mit freundlicher Genehmigung von René Dekker, Naturhistorisches Museum Leyden

Jahren Gene identifiziert, die die postzygotische Unverträglichkeit in Arthybriden verursachen [4, 18].

Die Mendelregeln besagen, dass epistatische Unverträglichkeit, zumindest bei den autosomalen Genen, noch nicht in der F1-Generation auftritt, weil die beiden haploiden Chromosomensätze dort noch nicht auseinandergerissen wurden. In den Folgegenerationen werden jedoch durch genetische Rekombination immer mehr Gene von ihren arteigenen Partnern getrennt. Aus der dritten Mendelregel geht aber auch hervor, dass dies nur für die Mehrheit, nicht aber für alle Genotypen gilt, so dass in der F2- und noch weiteren Generationen auch Hybrid-Individuen entstehen, die von epistatischer Unverträglichkeit nicht betroffen sind. Es darf also nicht wundern, dass die postzygotische Artschranke in begrenztem Maße durchlässig ist und das Eindringen artfremder Gene zulässt. Das gilt besonders, weil es in der Natur ja nicht gezielt zur Kreuzung der F1-beziehungsweise F2-Nachkommen unter sich kommt, sondern weil sich die Hybrid-Nachkommen eher mit den Elternarten zurückvermischen. Mischlinge zwischen Arten sind durchaus nicht so selten, wie früher angenommen wurde.

Selektion für sexuelle Abgrenzungsmechanismen

Ganz entscheidend ist die Frage, ob die Evolution präzygotischer Abgrenzungsmechanismen zwischen Arten einer

positiven Selektion unterliegt. Dies ist zu erwarten, weil die Hybrid-Nachkommen einer Fitnessminderung unterliegen, beispielsweise weil sie bei der Nahrungssuche weder die Strategie der einen noch die der anderen Elternart optimal anwenden können. Die Erzeugung von Bastarden bedeutet also einen selektiven Nachteil für ihre Eltern. Besonders wenn Arten sich nur in schmalen Bereichen überlappen, beobachtet man in diesen Zonen eine stärkere Ausbildung von Abgrenzungsmerkmalen als bei den Populationen derselben Art, die das „Hinterland“ bewohnen, wo es nicht zur Überschneidung mit der Partnerart kommt. Dies konnte überzeugend an der Partnerwahl bei weiblichen Trauerfliegenschnäppern in der Überlappungszone mit dem Halsbandfliegenschnäpper gezeigt werden [17]. Als in den 1920er Jahren im südlichen Nordseeraum die Heringsmöwe ins Verbreitungsgebiet der Silbermöwe eindrang, hybridisierten beide Formen zunächst relativ oft (Abbildung 3). Heute, nach nur wenigen Jahrzehnten, vermischen sich beide Arten nur noch sehr selten [5].

Am Mount Carmel in Israel befindet sich eine Schlucht, die pikanterweise „Evolution Canyon“ genannt wird. Nord- und Südabhang dieses Canyons sind nur wenige hundert Meter voneinander entfernt, unterscheiden sich aber mikroklimatisch wegen unterschiedlicher Sonneneinstrahlung und Feuchtigkeit drastisch voneinander. Hier sind neue *Drosophila*-Arten mit unterschiedlichen Anpassungsmerkmalen entstanden, beispielsweise hinsichtlich der Bodentemperatur, die die Eiablage auslöst. Sofort nach Entstehung dieser Anpassungen wäre die sexuelle Vermischung mit den Populationen des gegenüberliegenden Berghangs fatal für die Erhaltung dieser Merkmale gewesen. Daher hat ein starker Selektionsdruck für assortatives Paarungsverhalten gesorgt, das heißt für einen Ausschluss des artfremden Partners. Dadurch werden die Genpools auseinandergehalten [7]. Die neuen *Drosophila*-Biospezies sind in Sympatrie zueinander entstanden, da sie sich bei einer Distanz von nur wenigen hundert Metern ständig begegnen.

Manche Autoren sprechen von „Speziationsgenen“, also Artbildungs- beziehungsweise Arterhaltungsgenen, die unter positivem Selektionsdruck entstehen. Im Vorgriff sei hier bereits angemerkt, dass der Begriff „Speziationsgene“ leicht in der Richtung missverstanden werden kann, dass hier die Entstehung und Erhaltung von Arten unter positivem Selektionsdruck stehen. Es ist jedoch die „korrekte“ Partnerwahl der Individuen, die unter Selektionsdruck steht. Wenn Populationen geographisch getrennt sind, gibt es keinen Selektionsdruck auf Merkmale, die für sexuelle Abgrenzung sorgen würden. Bei allopatrisch verbreiteten Organismen entstehen präzygotische Abgrenzungsmerkmale genau wie die postzygotischen Abgrenzungsmerkmale rein zufällig und daher erst über lange Zeiträume mit geringer Evolutionsgeschwindigkeit [3]. Daher kommt es bei sekundärem Kontakt ehemals allopatrisch getrennter Formen oft zur gegenseitigen Vermischung. Sollten dann die Hybriden einen Fitnessnachteil haben, so kommt es zur schnellen Evolution von präzygotischen Abgrenzungsme-



ABB. 4 Graue und schneeweiße Schneegänse. Die Verbreitungsgebiete der östlichen, grauen Form der Schneegans (*Anser caerulescens*) und der westlichen, schneeweißen Form kamen vor weniger als zweihundert Jahren im Überwinterungsgebiet im Süden der USA erstmals in Kontakt. Seitdem vermischen sich beide Formen in zunehmendem Maße, so dass graue, weiße und Mischformen in ihrem gesamten Verbreitungsgebiet nebeneinander leben. Das Bild zeigt ausgewilderte Parkvögel, darunter ein weiß-graues Mischpaar mit ihren herangewachsenen Nachkommen, die phänotypisch kaum intermediär ausgefallen sind, sondern einer der beiden Elternarten ähneln. Bild: Andreas Buchheim

chanismen, wie oben am Möwenbeispiel dargestellt. Sollten die Hybriden jedoch konkurrenzfähig sein, so verschwinden zwei vormals unterschiedliche Formen. Ein Beispiel dafür sind die Schneegänse Nordamerikas. Noch vor 200 Jahren lebte die östliche, graue Form im Brut- und Überwinterungsgebiet getrennt von der westlichen, schneeweißen Form. Als die Winterquartiere beider Formen durch Ausweitung der landwirtschaftlichen Flächen, auf denen die Gänse gern äsen, in Kontakt kamen, vermischten sich beide Formen; denn Gänse verpaaren sich im Winterquartier, und die Männchen folgen den Weibchen in deren Brutgebiet. Heute gibt es immer noch graue und weiße Formen, aber es sind nur noch auffällig verschiedene Phänotypen einer – in ihrem gesamten Verbreitungsgebiet – polymorphen Art (Abbildung 4).

Früher glaubte man, dass den Unterschieden zwischen den Arten eine große Zahl unabhängiger Mutationen zugrunde läge. Daher auch die Vorstellung, Artbildung benötige die „Ungestörtheit“ der geographischen Isolation. Heute mehren sich die Beispiele für Pleiotropie. Es zeigt sich, dass eine ganze Gruppe von Merkmalen gleichzeitig durch die Mutation eines einzigen Gens verändert werden kann [15]. Schnelle und sympatrische Artbildung ist daher verständlich geworden. Da nach dem Biospezieskonzept die Artentstehung lediglich auf sexueller Abgrenzung beruht, könnte im Extremfall schon die mutative Veränderung eines einzigen Pheromonmoleküls, das beispielsweise bei Nachtfaltern die Partnererkennung sichert, zur Entstehung einer neuen Art führen. Ein bekanntes Beispiel für eine Artbildung im Laufe von wahrscheinlich nur einigen hundert Jahren sind die Buntbarsche (Cichliden) in den großen ostafrikanischen Seen. Einige der Seen sind über zehn Millionen Jahre alt, andere nur circa zehntausend. Hinzu kommen Austrocknungen, die einige Gewässer auf ein Alter von nur einigen hundert Jahren reduzieren. Trotzdem leben in den meisten Seen einige hundert Cichliden-Arten, die jeweils unabhängig voneinander aus einer oder wenigen Stammarten entstanden sind [13]. Die Arten sind untereinander sexuell isoliert, also Biospezies, und haben in den einzelnen Seen erstaunlich gleichförmige Gestalten konvergent entwickelt. Es handelt sich also um die Mehrfachentstehung fast gleichartig aussehender Arten in verschiedenen Regionen, ein besonderes Problem für merkmalsorientierte Taxonomen. Dennoch sind die genetischen Distanzen zwischen den Arten in den alten Seen vielfach größer als in den jungen Seen. Es handelt sich bei den Cichliden um ein überzeugendes Beispiel, dass eine Artabgrenzung aufgrund der genetischen Distanz ins Absurde führt. Bemerkenswerterweise sind in diesen Seen nur die Cichliden, nicht aber andere Fischfamilien dermaßen vielfältig geworden.

Intraspezifische Vielfalt, beispielsweise eine reichhaltige Aufspaltung in Rassen, darf nicht als Vorstufe für die Entstehung neuer Arten angesehen werden. Es gibt polymorphe Arten, die als eine einzige Art stammesgeschichtlich langfristig stabil sind, und es gibt monomorphe Arten,



ABB. 5 Der Wasserfrosch (*Rana esculenta*, Mitte) ist das Kreuzungsprodukt aus zwei Arten, dem Seefrosch (*R. ridibunda*, oben) und dem Kleinen Teichfrosch (*R. lessonae*, unten). Wasserfrösche sind voll lebensfähig und fertil und verpaaren sich uneingeschränkt durch Rückkreuzung mit ihren Elternarten. Bilder: Werner Kunz

aus denen in kurzen evolutionären Zeiträumen viele neue Arten entstehen [8].

Die Schwächen des Biospezies-Konzeptes

Bei einer nordamerikanischen Schlangenart konnte nachgewiesen werden, dass die Selektion für bestimmte Allelkombinationen innerhalb ein und derselben Fortpflanzungsgemeinschaft zwei ganz verschieden aussehende Va-

Einen ausführlichen Bericht über die Buntbarsche der ostafrikanischen Seen finden Sie in BiuZ 6/2000.

GLOSSAR

Allele: durch Mutation entstandene alternative Formen eines Gens.

Anagenese: die Veränderung von Merkmalen im Laufe der Evolution.

Allopatrie: geographische Isolation; Verbreitungsgebiete stehen nicht in Kontakt (bei wandernden Tierarten meist bezogen auf die Brutgebiete).

Cladogenese: die Aufzweigungen in getrennte Entwicklungslinien im Stammbaum.

Epistasie: Interaktion mehrerer, nicht-alleler Gene, die der phänotypischen Ausprägung ein und desselben Merkmals zugrunde liegen.

Genom: die Gesamtheit der Gene in einem Zellkern.

Hybridogene Artbildung: Entstehung einer neuen Art aus den Hybriden zweier Elternarten. Dies setzt die reproduktive Isolation der Hybridpopulation von beiden Elternarten voraus.

Monophylie: eine monophyletische Gruppe umfasst alle Nachfahren ihres letzten gemeinsamen Vorfahren.

Multiple Allelie: das Vorhandensein von mehr als zwei unterschiedlichen Allelen in einer Gruppe von Individuen.

Paraphylie: eine paraphyletische Gruppe geht zwar auf einen jüngsten gemeinsamen Vorfahren zurück, umfasst aber nicht alle Nachfahren dieser Stammart.

Pleiotropie: die Veränderung vielfältiger phänotypischer Merkmale durch ein einziges mutantes Gen.

Postzygotische Isolation: das Ausbleiben von Genfluss aufgrund von Mechanismen, die nach der Befruchtung der Eizelle greifen (z. B. Fehlbildungen bei der Embryonalentwicklung, Sterilität der Hybriden).

Präzygotische Isolation: das Ausbleiben von Verpaarungen aufgrund unterschiedlicher Erkennungsmechanismen. Es kommt nicht zur Befruchtung der Eizelle.

Sympatrie: gemeinsames Vorkommen zweier Taxa (beispielsweise Arten) im selben geographischen Gebiet.

Taxon (Pl. Taxa): Gruppe von Lebewesen, die einen wissenschaftlichen Namen trägt, unabhängig von ihrem Rang. Taxa können also Unterarten, Arten, Gattungen, Familien etc. sein.

Taxonomie: Teildisziplin der Biologie, die sich mit der Einteilung und Benennung von Organismen beschäftigt.

Zygote: Eizelle nach der Befruchtung durch ein Spermium.

rianten hervorbringt, die dauerhaft nebeneinander an verschiedene Biotope und Lebensweisen angepasst sind, ohne dass jedoch eine sexuelle Abgrenzung besteht. Dem liegt zugrunde, dass Mischformen zwar ständig entstehen, aber nicht selektiv durchsetzungsfähig sind und daher nur eine geringe Überlebenschance haben [2]. Es gibt also bemerkenswerte Ausnahmen von der Regel, dass zur Vermeidung der Vermischung „bewährter“ Genome immer die präzygotische Abgrenzung nötig ist und dass eine Sexualgemeinschaft immer ein Kontinuum darstellt.

Das Biospezies-Konzept wird oft über-simplifiziert. Innerhalb des Verbreitungsgebietes einer Biospezies können erhebliche Diskontinuitäten an ökologischen, morphologischen und genetischen Variationen existieren, zwischen denen kein Genfluss vorkommt oder zumindest sehr selten ist. Viele Tiere vermehren sich vorzugsweise mit ihren Nachbarn; Genaustausch mit weit entfernten Populationen kommt kaum, wenn überhaupt, vor. Bei vielen Pflanzen

muss die effektive Populationsgröße in Metern, nicht einmal in Kilometern, gemessen werden. Wo werden hier die Grenzen gesetzt, und was hilft hier die Mayr'sche Definition von „möglichen“ Sexualgemeinschaften, die aber nicht realisiert sind?

Ein besonderes Problem für das Biospezies-Konzept ist die Hybridisierung. Es ist schon lange bekannt, dass dieselben beiden Tierarten an manchen Orten hybridisieren, an anderen aber als gut getrennte Arten zusammenleben, ohne sich zu vermischen. Hybridisierung tritt bevorzugt dort auf, wo eine der beiden Arten deutlich seltener ist als die andere. Seebären auf der Insel Marion im südlichen Indischen Ozean führen uns vor, wie die Kraft des Sexualtriebes bestehende Artschranken ignoriert, wenn der art-eigene Sexualpartner nicht verfügbar ist [20]. Die geringe Populationsdichte einer Art ist eine zusätzliche Bedrohung, die bis zur genetischen Auslöschung dieser Art führen kann.

Der Wasserfrosch (*Rana esculenta*) ist das Kreuzungsprodukt aus zwei Arten, dem Seefrosch (*R. ridibunda*) und dem Kleinen Teichfrosch (*R. lessonae*) (Abbildung 5). See- und Teichfrosch sind weder prä- noch (im üblichen Sinne) postzygotisch abgegrenzt; denn sie paaren sich, und der Hybrid, der Wasserfrosch ist vital und fertil und verpaart sich uneingeschränkt wieder mit den Elternarten (Rückkreuzung). Daher könnte man in erster Ansehung *ridibunda* und *lessonae* zu einer gemeinsamen Biospezies vereinigen. Das ist aber nicht sinnvoll, denn See- und Teichfrosch behalten auf die Dauer ihre Identität; sie vermischen sich nicht. Es gibt keine (von Ausnahmen abgesehen) genetische Rekombination zwischen ihren Genomen; und das ist das Entscheidende für die Definition der Biospezies. Trotz uneingeschränkter Zygotenbildung (es gibt keine präzygotische Abgrenzung) bleiben das *ridibunda*- und das *lessonae*-Genom auf die Dauer sauber getrennt, weil eines der beiden Genome in der Keimbahn des Wasserfroschs prämeiotisch entfernt wird, so dass nur das Genom der einen Elternart durch die Meiose läuft. Der Hybrid selbst, der Wasserfrosch, wird nicht als dritte, eigene Art bezeichnet, sondern als „kleptogame Form“ („Kleptospezies“); denn bei der Befruchtung stiehlt die Oocyte sozusagen ein Genom, um damit den somatischen Teil eines Individuums aufzubauen, ohne aber dieses „geklaut“ Genom für meiotische Neukombination zu nutzen und weiter zu vererben.

Viele Pflanzen, aber auch bestimmte Tiere, besonders die Parasiten, haben die Fähigkeit zur Selbstbefruchtung als Anpassung an die geringe Chance, Sexualpartner zu finden. Der Schweinebandwurm zum Beispiel, der meist allein im menschlichen Dünndarm lebt, kann nur sich selbst befruchten. In der Logik des Biospezies-Konzeptes bedeutet dies, dass jedes Individuum eine eigene Art ist und dass jedes Schlüpfen aus dem Ei eine Artbildung wäre. Selbstreproduktion eröffnet auch die Chance zur hybridogenen Artbildung, ein Phänomen, das im logischen Widerspruch zum Biospezies-Konzept steht. Viele Kulturpflanzen und manche Wurmparasiten sind auf diese Weise entstanden.

Der Grund, warum hybridogene Artbildung durch Selbstreproduktion ermöglicht wird, ist folgender: Überlebensfähige F1-Bastarde, die aus der Kreuzung verschiedenen Arten hervorgehen, sind häufig tetraploid. Sie enthalten die vollen Genome beider Elternarten. Solche Individuen sind sofort von allen Individuen der Elterngeneration postzygotisch isoliert, weil die Kreuzung eines tetraploiden mit einem diploiden Individuum zu triploiden Nachkommen führt, bei denen in der Meiose die Tetradenbildung nicht funktioniert. Selbstreproduktion ermöglicht jedoch die Befruchtung von Eizellen mit Spermien gleicher Ploidiestufe, so dass in der Folgegeneration keine meiotischen Probleme auftauchen. Die neu entstandene Hybridart kann sich also stark vermehren und dadurch eine stabile Population aufbauen, die dann mit den Elternarten konkurrieren kann. Man schätzt, dass mehr als die Hälfte aller Pflanzenarten durch Hybridisierung entstanden sind. In einigen Fällen wurden dabei weite evolutionäre Auseinanderentwicklungen überbrückt [20].

Ein weitere Schwäche des Biospezies-Konzeptes besteht darin, dass dieses Konzept sympatrisch entstandene und allopatrisch entstandene Arten auf ein Stufe stellt. Bei sympatrischer Artbildung entstehen die präzygotischen Abgrenzungsmerkmale, wie oben erläutert, unter Selektionsdruck und daher vergleichsweise schnell. Bei geografischer Trennung jedoch gibt es keinen Selektionsdruck für Abgrenzungsmechanismen. Im Gegenteil, sexuelle Abgrenzung wäre ein sehr nachteiliger Faktor. Man vereint also ungleiche Ebenen miteinander, wenn man Genpools, die sich sympatrisch unter Selektionsdruck abgegrenzt haben, mit solchen auf dieselbe „Art“-Stufe stellt, die ihre sexuelle Isolation langsam durch Zufall entwickelt haben.

Ist die Spezies ein Ding oder ein Konstrukt?

Es ist eine in der Wissenschaftsgeschichte fast einmalige Situation, dass noch eineinhalb Jahrhunderte nach Darwins Veröffentlichung „The origin of species“ keine Einigung darüber herrscht, was die Dinge sind, deren Entstehung die Evolutionstheorie erklärt [10]. Es ist ein zentrales Bestreben der Biologie, die Biodiversität zu messen, und man kann das Anliegen, einen generell anwendbaren Artbegriff haben zu wollen, nicht einfach beiseite schieben.

Gleichzeitig nebeneinander existierende unterschiedliche Artkonzepte führen zwangsläufig zu unterschiedlichen Einteilungen der Organismen. Da hilft es nichts, in kritischen Fällen die passenden Kriterien aus verschiedenen Artkonzepten nach Bedarf herauszugreifen. Solange kein Konsens über die Definition der Art besteht, können auch Ökosysteme nicht befriedigend beschrieben werden. Die Zahl der jährlich weltweit aussterbenden Arten wird in fünfstelliger Größenordnung angegeben. Wie kann man Programme gegen die Ausrottung erarbeiten, wenn umstritten ist, was eine Art ist? Beispielsweise besagt die „Rote Liste“ der gefährdeten Arten, dass in den letzten zehn Jahren sieben Brutvogelarten in Nordrhein-Westfalen ausgestorben sind, während acht hinzugekommen sind. Eine sol-

che Aussage lässt sich nur bewerten, wenn gleiche Kategorien miteinander verglichen werden.

Es bringt nichts, wenn jetzt argumentiert wird, die taxonomische Praxis sei ja bisher ganz gut zurechtgekommen. Ein Wissenschaftler muss um jeden Preis der Versuchung widerstehen, Einfachheiten oder Plausibilitäten einem System überzustülpen, wenn dadurch unvollständige theoretische Grundlagen vertuscht werden. Wissenschaftliches Denken fordert, dass Resultate als richtig oder falsch überprüfbar sind; und das ist nur auf der Basis einer allgemein anerkannten Theorie möglich [1]. Da hilft nicht die Rechtfertigung, dass man mit einer Methode ohne theoretische Basis ganz gut arbeiten kann. Würde man die Güte einer Denkungsart und Vorgehensweise an ihrer subjektiven Verdaulichkeit messen, so lebten wir heute noch im geozentrischen Weltbild.

Bedeutet das Fehlen eines allgemein anerkannten Artbegriffes also etwa, dass die Art als generelle Einheit der Biodiversität überhaupt nicht existiert und dass in der Vergangenheit lediglich konsequentes Zu-Ende-Denken und wissenschaftliche Rigorosität gefehlt haben? Ist der Artbegriff so fest in unserem biologischen Denken verwurzelt, dass jedermann den unvermeidlichen Schluss scheut, dass schon an den basalen Prämissen etwas falsch sein könnte?

Nach dem Biospezies-Konzept kann die Art kein evolutionäres Alter haben; denn Vorfahren und Nachkommen können miteinander nur dann eine Sexualgemeinschaft bilden, wenn sie zur selben Zeit leben. Auch die allopatrische Aufspaltung einer Population auf zahlreiche insulare Vorkommen entzieht sich dem Zugang, vom Biospezies-Konzept erfasst werden zu können. Die Biospezies ist nicht-dimensional in Zeit und Raum. Sollte in der Evolution eine Teilpopulation einer Spezies zu einer neuen Art werden, so bedeutet dies, dass sie von den Restgruppen der „alten“ Art durch neu entstandene Abgrenzungsmechanismen isoliert ist. Dies heißt, dass *vice versa* auch die „alte“ Art von der neu entstandenen Art sexuell isoliert ist. Sie muss demnach logisch als eine ebenfalls neu entstandene Art definiert werden, auch wenn sich bei ihr überhaupt nichts verändert hat [19]. Der letzte Überlebende einer aussterbenden Population, ein sich parthenogenetisch (eingeschlechtlich) oder klonal (asexuell) fortpflanzender Organismus sowie gestorbene Individuen gehören nach dem Biospezies-Konzept in logischer Konsequenz keiner Art an.

Hier wird die dem Biospezies-Konzept zugrunde liegende nominalistische Philosophie deutlich. Nicht die Populationen beziehungsweise die „Arten“ sind es, die reproduktiv isoliert sind, sondern die Organismen selbst. Spricht man von sexuell isolierten Arten, so ist dies ein klarer Indikator dafür, dass man verschiedene Ebenen durcheinander wirft. Denn Populationen können sich weder paaren noch können sie sich sexuell reproduzieren. Das können nur Individuen. Eine evolutionäre Linie ist nichts anderes als ein Ordnungskonzept für Vorfahren und Nachkommen; es ist kein in der Realität existierendes Ding.

Damit wird klar, dass die Spezies in der Biologie keine autonome Existenz hat; sie ist ein Begriff, ein Konzept, ein Konstrukt des denkenden Menschen, auf das die Kategorie der Veränderlichkeit nicht angewendet werden kann [14]. Konzepte müssen jedoch nicht willkürlich oder gar unbrauchbar sein, sondern das Artkonzept drückt objektiv und signifikant in der Natur gegebene Gemeinsamkeiten zwischen den Organismen aus. Es handelt sich also um natürliche Klassen, aber eben um Klassen, nicht um Dinge. Ein materielles, real existierendes Objekt darf nicht mit einem Konzept vermischt werden, etwa indem man Merkmale und Eigenschaften der Substanzen auf Konstrukte anwendet. Jedes Objekt ist entweder ein Ding oder ein Konstrukt; kein Objekt ist beides gleichzeitig, und es gibt keinen Hybriden zwischen Dingen und Konzepten [9]. Es ist nicht die Spezies, die durch Evolution verändert wird, sondern es mutiert das Individuum. Es sind nicht die sich aufzweigenden Äste des Stammbaums, die der Evolution unterliegen, sondern es sind die Organismen selbst. Die Einheit der Evolution ist der Organismus, nicht die Population.

Der Mayr'sche Biospezies-Begriff ist keine Definition für die Art, sondern eine „operationale Definition“. Diese sagt uns nicht, was eine Biospezies ist. Weder die Reproduktion der Organismen noch ihre Isolation sind definierende Merkmale der Art, sondern es werden lediglich Eigenschaften benannt, die eine Reproduktion beziehungsweise Isolation zwischen Organismen möglich machen, ohne dass die Gruppe der Organismen selbst definiert wird [9].

KOMMENTAR

Über diesen Text wurde unter den Gutachtern der BiuZ-Manuskripte lange diskutiert. Sind die Aussagen relevant für unsere Leser? Welche Folgen hat es, über den Artbegriff zu diskutieren? Volker Storch, Mitglied des Kuratoriums, hat den Artikel zunächst abgelehnt. An dieser Stelle sagt er, warum:

Was ist ein Mensch? „Ein Mensch ist ein Wesen, das denken und sprechen kann“, lautet die Antwort dann oft. Das klingt zunächst logisch. Aber sind Menschen, die nicht denken können und / oder stumm sind, dann keine Menschen? Je länger man darüber nachdenkt: Die Frage nach dem Menschsein klingt so einfach – und ist von niemandem exakt zu beantworten. Jedenfalls nicht in Kürze. Trotzdem zweifelt keiner daran, dass es Menschen gibt.

Tatsache ist, dass viele Phänomene in der belebten Welt nicht knapp und klar de-

finierbar sind. Das gilt für das Leben als Ganzes, aber auch für den Menschen, für Gefühle – und eben auch die „Art“. Daraus zu schließen, dass es diese „Phänomene“ oder Konstrukte nicht gibt, halte ich für falsch.

Für den Naturschutz sind diese Überlegungen sogar schädlich. „Wie kann man Programme gegen die Ausrottung erarbeiten, wenn umstritten ist, was eine Art ist?“, fragt der Autor dieses Artikels. Die Praxis hat gezeigt, dass man dies durchaus kann, wenn man einige Unschärfen in Kauf nimmt. Denn die Natur kann nicht darauf warten, bis wir in Ruhe darüber diskutiert haben, in welche exakten Kategorien offensichtlich vom Aussterben bedrohte Tiere und Pflanzen fallen. Auch ein weiches Artkonzept hat sich millionenfach bewährt – wie auch das Konzept, dass es Menschen gibt.

Volker Storch, Heidelberg

Zusammenfassung

Seit Darwin bemüht sich die wissenschaftliche Welt, die auf der Erde existierende, sich stetig weiterentwickelnde Biodiversität der Organismen in taxonomische Kategorien zu gliedern. Es muss uns verwunderlich erscheinen, dass ein generell anwendbarer, allgemein akzeptierter Artbegriff bis heute nicht gefunden worden ist. Ein Grund dafür ist das Bestreben, dem Begriff der Art eine reale, autonome Existenz zuzusprechen. Stattdessen ist die Art ein nominalistisches Konzept, ein Konstrukt des denkenden Menschen. Evolutionäre Linien und reproduktiv isolierte Populationen sind keine in der Realität existierenden Dinge. Folglich haben sie auch nicht die Merkmale und Eigenschaften der Substanzen. Populationen können sich weder paaren noch können sie sich sexuell reproduzieren. Das können nur Individuen. Es ist nicht die Spezies, die durch Evolution verändert wird, sondern nur das Individuum ist Gegenstand der Mutation und Selektion. Die Einheit der Evolution ist der Organismus, nicht die Population.

Literatur

- [1] K.Bachmann (1998) Species as units of diversity: an outdated concept. *Theory in Biosciences* 117, 213-230.
- [2] E.D.Brodie (1989) Genetic correlations between morphology and antipredator behaviour in natural populations of the garter snake *Thamnophis ordinoides*. *Nature* 342, 542-543.
- [3] J.A.Coyne, H.A.Orr. (1999) The evolutionary genetics of speciation, in: A.E.Magurran, R.M.May (Eds.), *Evolution of Biological Diversity*, Oxford University Press, Oxford, 1-36.
- [4] A.W.Davis, J.Roote, T.Morley, K.Sawamura, S.Herrmann, M.Ashburner (1996) Rescue of hybrid sterility in crosses between *D. melanogaster* and *D. simulans*. *Nature* 380, 157-159.
- [5] J.Haffer (1982) Systematik und Taxonomie der *Larus argentatus*-Artengruppe, in: U.N.Glut von Blotzheim, K.M.Bauer (Eds.), *Handbuch der Vögel Mitteleuropas*, Akademische Verlagsgesellschaft, Wiesbaden, 502-514.
- [6] W.Hennig (1950) *Grundzüge einer Theorie der phylogenetischen Systematik*, Deutscher Zentralverlag, Berlin.
- [7] A.Korol, E.Rashkovetsky (2000) Nonrandom mating in *Drosophila melanogaster* laboratory populations derived from closely adjacent ecologically contrasting slopes at "Evolution Canyon". *Proc.Natl.Acad.Sci.USA* 97, 12637-12642.
- [8] A.E.Magurran (1999) Population differentiation without speciation, in: A.E.Magurran, R.M.May (Eds.), *Evolution of biological diversity*, Oxford University Press, Oxford, 160-183.
- [9] M.Mahner, M.Bunge (1997) *Foundations of biophilosophy*, Springer, Berlin.
- [10] W.Martin, F.Salamini (2000) A meeting at the gene - Biodiversity and natural history. *EMBO Reports* 1, 208-210.
- [11] E.Mayr (1942) *Systematics and the origin of species*, Columbia University Press, New York.
- [12] E.Mayr, P.D.Ashlock (1991) *Principles of systematic zoology*, McGraw Hill, New York.
- [13] A.Meyer (1999) Buntbarsche - Meister der Anpassung. *Spektrum der Wissenschaft* 36-43.
- [14] B.D.Mishler, M.J.Donoghue (1994) Species concepts: a case for pluralism, in: E.Sober (Ed.), *Conceptual issues in evolutionary biology*, Cambridge/Mass., 217-232.
- [15] V.Morell (1999) Size matters: The genes behind adaptation. *Science* 284, 2107.
- [16] M.F.Palopoli, C.I.Wu (1994) Genetics of hybrid male sterility between *Drosophila* sibling species: a complex web of epistasis is revealed in interspecific studies. *Genetics* 138, 329-341.

- [17] G.-P.Saetre, T.Moum, S.Bures, M.Kral, M.Adamjan, J.Moreno (1997) A sexually selected character displacement in flycatchers reinforces premating isolation. *Nature* 387, 589-592.
- [18] C.T.Ting, S.C.Tsaur, M.L.Wu, C.I.Wu (1998) A rapidly evolving homeobox at the site of a hybrid sterility gene. *Science* 282, 1501-1504.
- [19] R.Willmann (1985) *Die Art in Raum und Zeit*, Parey, Berlin.
- [20] P.Wirtz (2000) Einseitige Hybridisierung im Tierreich. *Naturw. Runds.* 53, 172-175.

Anmerkung

Der Antrieb und der endgültige Entschluss, diesen Artikel zu schreiben, geht auf meine Erfahrungen auf entomologischen und ornithologischen Tagungen zurück. Viele Sammler und Vogelbeobachter, die einen Großteil ihrer Freizeit nutzen, neue Arten zu finden, wissen nicht, was eine Art ist. Dieser Aufsatz entstand aus einer Zusammenarbeit mit dem Ornithologen und Taxonomen Andreas J. Helbig/Vogelwarte Hiddensee, dem ich für viele Anregungen dankbar bin und der mir auch die Fotos der Abbildung 3 beschafft hat. Der Artikel hätte nach etlichen Korrekturen und Neufassungen seine hier vorliegende Form nicht erreicht, wenn ich nicht durch viele Hinweise und Diskussionen von meinem Kollegen Klaus Lunau/Düsseldorf, von Konrad Bachmann/Gatersleben und durch das zitierte Buch von Mahner und Bunge beeinflusst worden wäre.

Der Autor



Werner Kunz, geb. 1940, 1959-1963 Biologiestudium in Münster bei Prof. B. Rensch. 1966 Promotion bei Prof. K. Bier über Insekten-Chromosomen. 1970-1971 Gastaufenthalt an der Yale University/ New Haven bei Prof. J. Gall. 1971-1980 Forschungsarbeiten über ribosomale DNA bei *Drosophila* am Institut für Genetik in Düsseldorf. 1972 Habilitation in „Allgemeiner Biologie“; seit 1973 C3-Professor. Seit 1980 wissenschaftliche Arbeiten über molekulare Parasitologie an *Schistosoma* in Düsseldorf. In der Freizeit Tierfotografie und Bestimmung von Vogel- und Schmetterlingsarten in vielen Erdteilen, mit Schwerpunkt auf tropischen Regenwäldern.

Anschrift: Professor Dr. Werner Kunz, Genetische Parasitologie, Institut für Genetik, Heinrich-Heine-Universität, Universitätsstr. 1, D-40225 Düsseldorf. Tel. und Fax: (49) 211 81 12333; Email: Kunz@uni-duesseldorf.de