

# Von Feuersalamandern und neuen Arten

*Was man schon immer über den farbenprächtigen Feuersalamander wissen wollte: Wie eine neue Art entsteht und sich an einen Lebensraum anpasst, ist nicht nur für den Biologen aufschlussreich*

Eines der zentralen Themen der Evolutionsbiologie widmet sich der Frage, wie neue Arten entstehen und wie sie sich voneinander abgrenzen. Da gibt es zum einen die heute gängige Lehrmeinung, dass Arten infolge einer räumlichen Isolation von Populationen durch Wasserscheiden, Gebirgsmassive oder Eiszeiten entstehen. Dabei wird der Genaustausch zwischen den Lebensgemeinschaften so lange unterbunden, bis die Individuen untereinander nicht mehr kreuzbar sind. Dieser Prozess, der als „allopatrische Artbildung“ bezeichnet wird, wurde zu einem zentralen Dogma der Evolutionsbiologie erhoben. Zum anderen gehen alternative Konzepte von der Bildung neuer Arten ohne räumliche Trennung aus. In diesem Fall spricht man von „sympatrischen Bedingungen“. Entscheidend ist dabei aber weniger die Frage der räumlichen Trennung als die, ob es sich um einen aktiven, durch Anpassung getriebenen oder einen passiven Prozess handelt, der auf Zufallseffekten beruht. Heute wird die Konkurrenz innerhalb einer Art als entscheidender Faktor der Artbildung angenommen. Diese kann dazu führen, dass sich eine Population in zwei Gruppen spaltet. In einer sich sexuell fortpflanzenden Population würden sich die unterschiedlich angepassten Genotypen (also Gruppen von Individuen mit 16 bestimmten Erbfaktoren) jedoch

schneller wieder vermischen. Daher muss ein zweiter Faktor herangezogen werden, der zu einer Stabilisierung der Spaltung führt, die sogenannte „assortative Paarung“. Dies bedeutet, dass sich in einer Population Partner mit den gleichen „Vorlieben“ für bestimmte Nischen auch bei der Paarung bevorzugen. In diesem Modell führt also die Anpassung an neue ökologische Nischen gleichzeitig zur genetischen Spaltung der Populationen. Dieser Prozess kann vergleichsweise schnell ablaufen, unter Umständen in wenigen dutzend bis hundert

Generationen. Zudem würde man erwarten, dass er immer dann eintritt, wenn neue Lebensräume besiedelt werden, in denen entsprechende ökologische Nischen noch unbesetzt sind.

Parallel zu den theoretischen Fortschritten haben sich die experimentellen Möglichkeiten zur Untersuchung von Artaufspaltungen sehr verfeinert. Inzwischen kann man solche schnell ablaufenden Ereignisse direkt beobachten. Entscheidend sind hierbei DNA-Analysen, die auf hochvariablen Sequenzabschnitten basieren. Als wichtigste Hilfsmittel haben sich die Sequenzierung von Regionen der DNA-

Mitochondrien, kleiner Zellorganellen, sowie die Analyse von variablen Sequenzwiederholungen im Zellkern erwiesen. Letztere Technik ist unter dem Namen „DNA-Fingerabdruck“ populär geworden. Sie erlaubt insbesondere die Unterbrechung des Genflusses zwischen zwei sympatrischen Gruppen nachzuweisen – das entscheidende Kriterium für eine Artaufspaltung.

Die meisten neueren Studien zur sympatrischen Artaufspaltung beziehen sich auf Fischpopulationen in Seen. Diese scheinen am ehesten einen abgrenzba-

ren Raum zu bilden, in dem Sympatrie über längere Zeit stattfinden kann. Ein früherer

Doktorand in München, Ulrich Schliewen, hat Buntbarsche in kleinen Kraterseen in Kamerun untersucht. Für einen dieser Seen, den Barombi Mbo, konnte er zeigen, dass dieser nur einmal von einer einzigen Buntbarschart besiedelt wurde und sich danach ein gutes Dutzend neuer Arten unter sympatrischen Bedingungen bildete.

Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Lebensräume und Organismen steht im Mittelpunkt eines Projekts an der Universität Köln. Sebastian Steinfartz und Markus Weitere befassen sich insbeson-





dere mit dem an Land lebenden Feuersalamander, einem Wirbeltier, das innerhalb der Klasse der Amphibien zu den Schwanzlurchen zählt. Vor allem wegen seiner vielfältigen Erscheinungsformen ist er für eine solche Untersuchung geeignet. Seine auffällige Erscheinung hat ihn seit jeher für Naturforscher und Sammler interessant gemacht. Es gibt mindestens fünf offizielle Feuersalamander-Arten sowie mindestens 15 verschiedene Unterarten. Im Rahmen des Kölner Projekts wurden insgesamt vierzig Populationen des Feuersalamanders in den verschiedensten Teilen Europas untersucht. Dabei wurde deutlich, dass sich die morphologischen, durch Gestaltungsmerkmale getrennten Arten und Unterarten nicht nur hinsichtlich ihres genetischen Aufbaus eindeutig voneinander abgrenzen lassen, sondern dass die Differenzierung vermutlich noch viel weiter reicht.

Aber selbst innerhalb der Linie, welche gegenwärtig in Mitteleuropa verbreitet ist, kommt es zu weiteren interessanten lokalen Differenzierungen. Dies entspricht auch

denjenigen Modellen sympatrischer Artaufspaltung, die annehmen, dass bei der Wiederbesiedlung unbesetzter ökologischer Nischen (etwa nach einer Eiszeit) Rahmenbedingungen für eine weitere Aufspaltung herrschen. Durch eine flächendeckende Untersuchung von rund 50 deutschen Populationen haben sich

die Kölner Forscher die Aufgabe gestellt, eine Region zu finden, in der sich gegenwärtig eine Aufspaltung in unterschiedlich angepasste ökologische Typen vollzieht. Dabei stellte sich heraus, dass in der direkten Nähe von Köln Populationen leben, die diesen Effekt zeigen.

Im Vergleich zu anderen Schwanzlurchen haben Feuersalamander ein sehr komplexes, an den Standort angepasstes Reproduktionsverhalten. In Mitteleuropa und Deutschland ist der Feuersalamander ein klassischer Bewohner der bewaldeten Mittelgebirge. Typischerweise werden die bereits lebenden Larven in sauerstoffreichen Bächen abgesetzt. Bis zum Abschluss der Metamorphose, der Entwicklungsphase vom Ei bis zum geschlechtsreifen Tier, sind die Larven des Feuersalamanders existentiell auf Wasser angewiesen. Erst für die erwachsenen Tiere schließt sich

ein Lebensabschnitt an, in dem sie an Land leben. In manchen

Gebieten Deutschlands besiedelt der Feuersalamander aber auch für ihn untypische flache Gegenden, in denen nur selten Bäche vorhanden sind. Dort nutzt er stehende Gewässer wie mit Wasser gefüllte Fahrzeugspuren, Entwässerungsgräben der Wälder oder Pfützen. Natürlich unterscheiden sich die Lebensbedingungen in Gebirgsbächen und Gewässern gravierend. In den zeitweise stehenden Gewässern drohen den Larven tödliche Gefahren: lange Trockenperioden, aber auch Futtermangel.

Im Freiland und im Labor wurde das Anpassungsverhalten von Salamanderlarven in Bächen des Bergischen Landes sowie in Gewässern

Beeindruckende Vielfalt: Der Feuersalamander, der zu den Schwanzlurchen zählt, hat zahlreiche Arten und Unterarten; hinzu kommen regionale und lokale Varianten. Links: ein Feuersalamander aus Nordwest-Spanien. Oben: ein Exemplar aus den Pyrenäen. Rechts: ein Tier, das durch seine markante Färbung auffällt.



in der Ville, einem Waldgebiet bei Bonn, untersucht. Dabei ergab sich, dass die Feuersalamanderlarven aufgrund der unterschiedlichen ökologischen Rahmenbedingungen zwei verschiedene Anpassungsstrategien eingeschlagen haben. Laborversuche mit Fließgewässer-Larven aus der Eifel, einem Mittelgebirge, das sich westlich an die Ville anschließt, bestätigen diese Ergebnisse. Die genetische Charakterisierung der beiden verschiedenen Larven-Ökotypen ergab, dass die Ausprägung der Anpassungsstrategien sehr jungen Datums ist. Um nun zu testen, ob diese verschiedenen Anpassungsstrategien auch zur Artbildung in Sympatrie führen, war es notwendig, beide Typen zu finden und genetisch zu analysieren. In der Tat existiert im Kottenforst bei Bonn ein sympatrisches Vorkommen beider Typen. Im Frühjahr 2002 wurde daher eine intensive, kleinräumige Untersuchung im Kottenforst und in den

Grundlagen, um genetische Daten interpretieren zu können und die Mechanismen der Artbildung zu erkennen. Da Feuersalamander mit einer Samentasche ausgestattet sind, sollen frei lebende Feuersalamanderweibchen in der Lage sein, Samen verschiedener Männchen über mehrere Jahre zu speichern und sich damit später zu befruchten. Unter Bedingungen in Gefangenschaft konnte zumindest eine erfolgreiche Befruchtung mit gespeicherten Samen nach mehreren Jahren nachgewiesen werden. Inwieweit solch ein Verhalten aber

In unseren Breiten ist der Feuersalamander ein klassischer Bewohner der bewaldeten Mittelgebirge. Er setzt seine Larven in sauerstoffreichen Bächen ab. Erst die erwachsenen Tiere leben dann dauerhaft an Land. In manchen Regionen ist der Feuersalamander allerdings auch in flachen Gegenden mit stehenden Gewässern anzutreffen.

genetischer Analysen ließ sich die Anzahl der Väter bestimmen. Tatsächlich war der Anteil mehrfacher Vaterschaften hoch. Diesen Weibchen und weiteren hundert erwachsenen Tieren wurden sogenannte Transponder unter die Haut gepflanzt, die über Jahre hinweg eine individuelle Erkennung zulassen. Ziel ist es, über mehrere Fortpflanzungsperioden Aktivitätsradius, Ortstreue und Anzahl der Fortpflanzungspartner einzelner Weibchen zu erforschen

Noch befindet sich das Salamanderprojekt in einer frühen Phase. Entscheidend für seine Fortführung wird sein, inwieweit die genetische Analyse von vor Ort entstandenen „jungen“ Ökotypen des Feuersalamanders die Hypothese der sympatrischen Artbildung bestätigt. Im positiven Fall sollen detaillierte Verhaltensstudien und Kreuzungsversuche zwischen den verschiedenen Typen die genetischen Grundlagen der sympatrischen Artbil-



angrenzenden Gebieten der Eifel durchgeführt. Die vorläufige genetische Analyse der Populationen zeigt, dass die Feuersalamanderpopulation sich im Kottenforst gegenwärtig tatsächlich in zwei Arten aufspalten könnte.

Bei Artbildungsprozessen spielt das Verhalten der Tiere eine wichtige Rolle. Kenntnisse über das Wanderungs-, Expansions- und Reproduktionsverhalten sowie die Orts-

18

treue der Tiere sind unentbehrlich auch unter natürlichen Bedingungen stattfindet, ist völlig unklar. Das Vorhanden- oder Nichtvorhandensein mehrfacher Vaterschaften beeinflusst jedoch nicht nur die interne Populationsstruktur, sondern lässt auch Aussagen über die Partnerwahl der Weibchen zu.

Vom gesamten Nachwuchs eines Jahres von über 30 Weibchen einer Beobachtungspopulation (jeweils 30 bis 40 Larven) wurden alle weiblichen Tiere untersucht. Mit Hilfe

der genetischen Analysen ließ sich die Anzahl der Väter bestimmen. Tatsächlich war der Anteil mehrfacher Vaterschaften hoch. Diesen Weibchen und weiteren hundert erwachsenen Tieren wurden sogenannte Transponder unter die Haut gepflanzt, die über Jahre hinweg eine individuelle Erkennung zulassen. Ziel ist es, über mehrere Fortpflanzungsperioden Aktivitätsradius, Ortstreue und Anzahl der Fortpflanzungspartner einzelner Weibchen zu erforschen

*Dipl.-Biol. Sebastian Steinfartz  
Prof. Dr. Diethard Tautz  
Universität zu Köln*

Das Projekt wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Normalverfahren gefördert.