

SONDERDRUCK

aus

4 | 2024



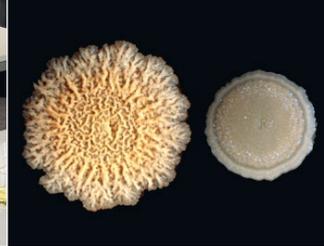
Verband | Biologie, Biowissenschaften & Biomedizin in Deutschland



ZOOLOGIE
Fortpflanzung
an Land



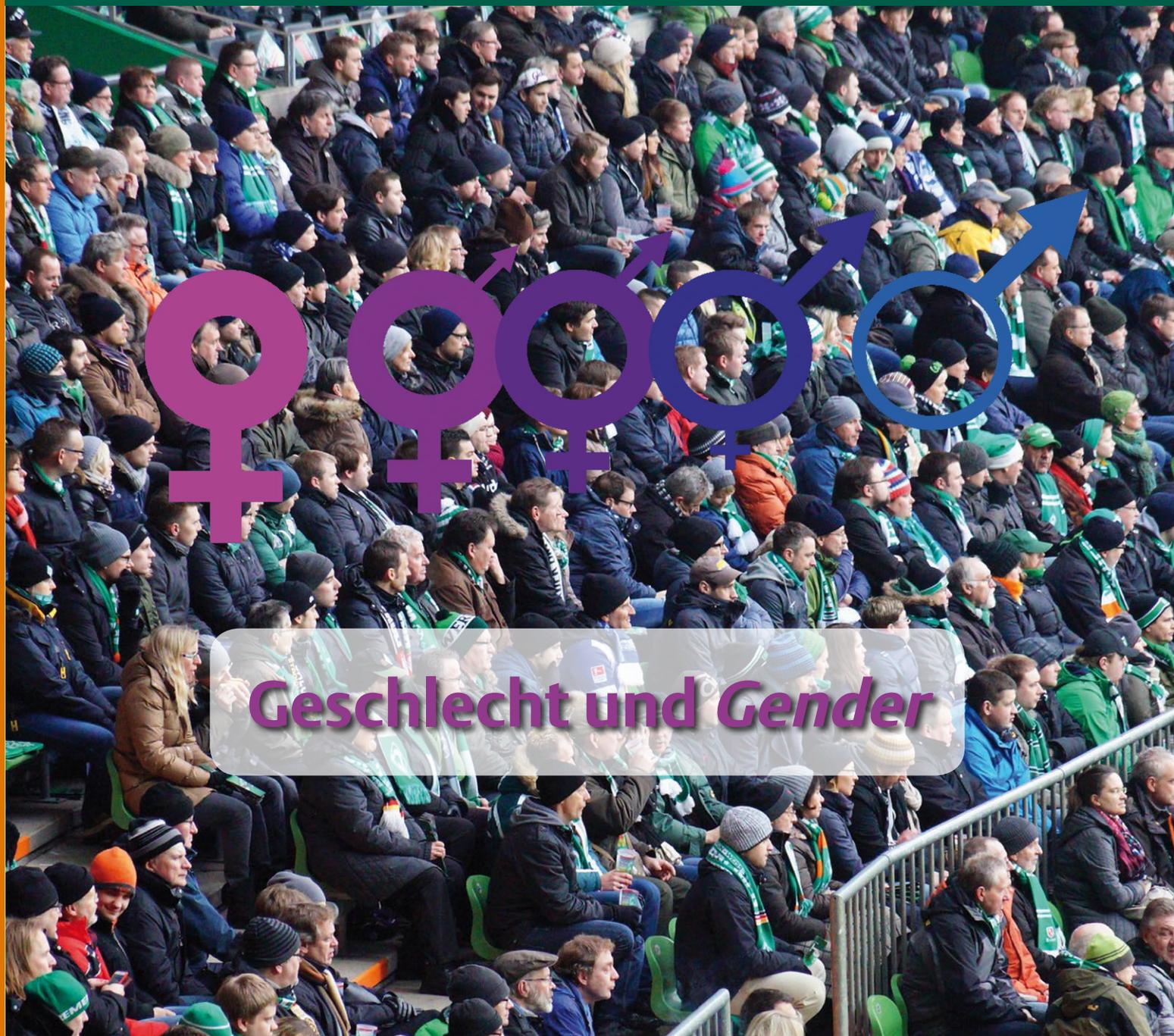
SCHULE
Experimente
im Abitur



MIKROBIOLOGIE
Das Modellsystem
Bacillus subtilis

BIOLOGIE

IN UNSERER ZEIT



Geschlecht und Gender

Fortpflanzung zu Wasser und zu Lande: Amphibien und Reptilien im Vergleich zu Insekten

Luft taugt nicht für Sperma

WOLFGANG BÖHME



ABB. 1 Spermaübertragung an Land: a) beim Rüsselkäfer *Cleistolophus cf. similis*, b) bei der Landschildkröte *Testudo graeca ibera*.
Fotos: M. Schmitt und W. Böhme.

Unter den landlebenden Tieren sind vor allem zwei Gruppen dominant, die stammesgeschichtlich schon seit der kambrischen Ediacara-Periode bei der Gabelung der ▶ Bilateria in ▶ Proto- und Deuterostomier – also vor 540 bis 635 Millionen Jahren – voneinander getrennt sind [1]: die Insekten und die Landwirbeltiere oder Tetrapoden. Beide Gruppen hatten mit dem Verlassen des Wassers und der Eroberung des Landes außer der Umstellung ihrer Atmung von im Wasser gelöstem Sauerstoff auf Luftsauerstoff und der Kräftigung der Extremitäten zur Lokomotion außerhalb des Wassers auch das Problem der Fortpflanzung außerhalb des Wassers zu lösen. Dazu war für die Männchen die Entwicklung eines ▶ intromittierendes Organs erforderlich, da im Gegensatz zum Wasser die Luft sich nicht als Trägermedium für Sperma eignet (Abbildung 1). Die Amphibien – als die Pioniere des Landgangs in der Wirbeltierevolution – kehrten deshalb für die Reproduktion meist wieder ins Wasser zurück und hielten an einem wasserlebenden Larvenstadium fest. Diese Larven ergeben frappante Parallelen zwischen Insekten und Amphibien, wovon der erste Abschnitt des vorliegenden Aufsatzes handelt.

Erst die Reptilien schafften es, sich auch fortpflanzungstechnisch ganz vom Wasser zu lösen. Ihre keratinisierte Haut – durch das chitinisierte Exoskelett der Insekten parallelisiert – schützte vor Austrocknung, und die an Land gelegten Eier waren durch eine pergamentartige oder stark verkalkte Schale ebenfalls geschützt. Die intromittierenden Organe der Männchen zeigen eine hohe morphologische, aber innerartlich konstante Diversität, die wie bei den Insekten auch taxonomische, mitunter auch phylogenetische Relevanz hat. Der bei Insekten häufige Ausweg, partiell oder ganz auf Männchen zu verzichten, ist bei Reptilien erst viel später entdeckt worden.



ABB. 2 Insekten und ihre Jugendstadien: a) und b) Warzenbeiser (*Decticus verrucivorus*), Larve (Nymphe) und fertiges Insekt; c) und d) Schwalbenschwanz (*Papilio machaon*), Larve (Raupe) und fertiger Falter (Imago). Fotos: W. Böhme (a–c), D. Stüning (d).

Die mit einem grünen Pfeil markierten Begriffe werden im Glossar auf Seite 362 erklärt.

Viele wirbellose Tiere besitzen ein Larvenstadium, das sich sowohl morphologisch als auch ökologisch extrem von dem jeweiligen Adultstadium unterscheiden kann. Larvenstadien haben zwei wichtige Funktionen im Lebenszyklus einer Art bzw. Gruppe: Entweder sie dienen der Ausbreitung der meist wenig beweglichen bis hin zu sogar sessilen Adulti. Oder sie stellen ein reines Fress-

und Wachstumsstadium bei einem oft kurzlebigen, dann meist nur auf die Reproduktion ausgerichteten Adultstadium dar, das dann – vor allem bei geflügelten Formen – auch das Ausbreitungsstadium ist. Zunächst gilt es zu klären, wie eine Larve definiert werden kann. Eine Larve ist ein Jugendstadium, das nicht nur einige Merkmale seiner Adulti noch nicht hat – das gilt für die allermeisten noch nicht geschlechtsreifen Jugendstadien –, sondern das eigene Sondermerkmale besitzt, die dem Adultus fehlen, aber nischenrelevante Anpassungen überhaupt erst ermöglichen.

Es sind vor allem die Larvenstadien mariner Organismen wie Schwämme, Anthozoen, Mollusken (Veliger), Crustaceen (Nauplia, Zoea), Echinodermen und/oder Tunicaten (mit Chordaschwanz), die eine pelagische Lebensweise führen und für ihre oft kaum beweglichen oder gar sessilen Adultstadien das Ausbreitungsstadium darstellen. Bei den pterygoten Insekten dagegen stellen die Adulti dank ihrer Flugfähigkeit das Ausbreitungs-, ihre hoch diversen Larven dagegen das Wachstumsstadium dar. Ihre vielfältigen, meist terrestrischen, oft aber auch limnischen Larvenstadien, teils mit beeindruckenden Sondermerkmalen ausgestattet, sind zweifellos eine evolutive Neuentdeckung, da ihre Stammgruppen wie etwa die Myriapoden derartige Jugendstadien nicht kennen, also quasi ▶ ametabol sind [1].

Die pterygoten (geflügelten) Insekten werden klassischerweise in ▶ hemimetabole und ▶ holometabole Gruppen aufgeteilt. Bei den Hemimetabolen ähneln die Larven

IN KÜRZE

- Seit Bestehen der Zweigeschlechtigkeit, die die genetische Variabilität und damit die Anpassungsfähigkeit von Organismen erhöht, bedarf es eigener Strategien, das **Zusammentreffen der weiblichen und männlichen Gameten** zu gewährleisten.
- Für aquatisch lebende Tiere ist das kein Problem, da die beiderseitigen Gameten nur **zeitlich koordiniert ins Wasser** abgegeben werden müssen. Dies nutzen die meisten Amphibien (vor allem Froschlurche), sofern sie nicht sekundär zum Wasserleben zurückgekehrt sind, wie etwa die Molche.
- Die allermeisten Amphibien haben eigene aquatische Larvenstadien, die sich in einer Metamorphose zum landlebenden erwachsenen Tier umwandeln. Dabei weisen die Larven erstaunliche **Parallelen zu den verschiedenen Larventypen der Insekten** auf.
- Wasserunabhängige, permanent landlebende Wirbeltiere, aber auch die Insekten, benötigen im männlichen Geschlecht ein „Transmitter“-Organ, mit dem **Sperma direkt in den weiblichen Körper verbracht** werden kann.
- Diese Organe sind bei Schuppenkriechtieren (Echsen und Schlangen) außerordentlich divers gestaltet. Ihre Struktur unterliegt **phylogenetischer, aber auch ökologischer und sexueller Selektion** und liefert der Forschung einerseits wertvolle Hinweise auf Verwandtschaftsbeziehungen, andererseits aber auch entsprechende Anpassungen und Paarungssysteme.

oft stark den jeweiligen Adulti, sind aber ungeflügelt und fressen sich, wenn sie schon äußere Flügelanlagen zeigen, als Nymphen von Häutung zu Häutung bis zur letzten, der sogenannten Imaginalhäutung durch, wonach sie ein oft kurzes Leben als erwachsene, vor allem der Reproduktion verpflichtete Insekten verbringen. Hierher gehören zum Beispiel die Heuschreckenartigen (Spring- und Fangschrecken, Ohrwürmer und Schaben, Abbildungen 2a und b) und die Schnabelkerfe (Rhynchota: Wanzen und Zikaden). Einen Sonderfall bilden die Libellen, die mit ihren limnischen, umgestalteten und per Fangmaske jagenden räuberischen Larven dann an einem Halm das Wasser verlassen und sich als Imago aus der Larvenhülle befreien.

Die Holometabolen dagegen haben Larvenstadien, die nicht die geringste Ähnlichkeit mit ihren Elternformen haben, die meist – von Ausnahmen abgesehen – grundsätzlich andere Nahrungsressourcen nutzen und oft, da ihre Eltern das Ausbreitungsstadium darstellen, auch eingeschränkte Lokomotionsfähigkeiten haben. Hierher gehören die Larven der Hymenopteren (Hautflügler), von denen viele auf Fütterung durch die Adulti angewiesen sind: die der Dipteren (Maden), der Schmetterlinge (Raupen, Abbildung 2c) und der (polyphagen) Käfer (Engerlinge). Ihnen ist gemeinsam, dass die Morphologie der Larven, wenn sie nach mehreren Häutungen die Klimax ihrer Fress- und Wachstumsphase erreicht haben,

in einem Ruhestadium, der sogenannten Puppenruhe, in die dramatisch verschiedene Morphologie des adulten Insekts umgebaut wird (Abbildung 2d).

Diese außerordentlich teure Investition scheint sich evolutiv auszuzahlen, wenn man Evolutionserfolg an den Artenzahlen einer Gruppe misst. Denn hemimetabole Gruppen wie etwa Heuschrecken bringen es bei uns in Mitteleuropa auf ca. 80 Arten, die in den Entwicklungsstadien ökologisch ja viel stärker getrennten Libellen trotzdem auf nicht viel mehr, und selbst die Wanzen mit ihren etwa zehnmals so vielen einheimischen Arten bleiben noch weit hinter den holometablen Gruppen wie Schmetterlingen (ca. 3.000), Hautflüglern (ca. 11.500), Fliegenartigen (ca. 8.000) oder Käfern (ca. 8.000), zurück. Schlüssel zu diesem Erfolg scheint die ökologische (örtliche oder auch zeitliche) Nischentrennung der Larval- und Adultstadien zu sein, die mit jeweils verschiedenen Nahrungsökologien keine innerartliche Ressourcenkonkurrenz haben.

Ein Larvenvergleich Amphibien – Insekten

Versucht man nun, diese Verhältnisse auf diejenige Wirbeltiergruppe mit der größten Larvendiversität zu übertragen – also auf die Amphibien – so sieht man zum einen bei den Urodelen (Froschlurche), dass ihre Larven morphologische Miniaturausgaben der adulten Tiere sind. Dennoch sind sie durch die Sondermerkmale der äußeren



ABB. 3 Amphibien und ihre Jugendstadien: a) und b) Feuersalamander (*Salamandra salamandra terrestris*), Larve mit Außenkiemen und adultes Tier; c) und d) Grasfrosch (*Rana temporaria*), Larve (Kaulquappe) mit Raspelmaul sowie Spiraldarm und erwachsener Frosch. Fotos: B. Trapp (a, c), W. Böhme (b, d).



ABB. 4 Metamorphosierender Laubfrosch (*Hyla arborea*), noch mit zu resorbierendem Larvenschwanz (a). b) Am kleinen Maul sind noch die Hornzähnen des Kaulquappenstadiums erkennbar. Fotos: B. Trapp.

Kiemenbüschel (Abbildung 3a) oder – bei manchen Molchen – durch die RUSCONISCHEN HÄKCHEN mit eigenen Larvalmerkmalen ausgestattet, leben aber ebenfalls räuberisch im Wasser und sind nahrungsökologisch, abgesehen von der anderen Größenklasse, nicht von ihren Eltern getrennt. Sie nähern sich wie die Nymphen hemimetaboler Insekten graduell dem Aussehen der Adulti, reduzieren schließlich die Außenkiemen und verlassen dann – im Normalfall – als Lungenatmer ihren aquatischen Lebensraum (Abbildung 3b).

Betrachten wir dagegen die Larven der Anuren (Froschlurche), so begegnet uns eine völlig verschiedene, subaquatisch adaptierte Morphologie: ein komplett anderer Bauplan, mit einem gliedmaßenlosen, kugeligen Körper mit langem Ruderschwanz, einem spiralförmig aufgerollten magenlosen Vegetariendarm und einem Hornschnabel im Raspelmaul, das üblicherweise auf die Aufnahme pflanzlicher Kost spezialisiert ist (Abbildung 3c). Hier sehen wir also eine komplette nahrungsökologische Trennung von den fast immer terrestrisch und räuberisch-karnivor lebenden Elterntieren (Abbildung 3d). Und auch hier findet die Metamorphose nicht graduell mit sukzessiver Annäherung

an die Adultgestalt statt, sondern die dramatischen Umgestaltungen des gesamten Bauplans finden in einem zeitlich begrenzten Ruhestadium statt, in dem einige Zeit keine Nahrung aufgenommen werden kann. Dies wird kompensiert durch die Resorption des Ruderschwanzes, während gleichzeitig oder auch bereits davor die Extremitätenanlagen ausdifferenzieren (Abbildung 4a), der Hornschnabel zum Algenraspeln abgestoßen und das kleine Raspelmaul in das breite Froschmaul mit neu zu bildender Zunge umgebaut wird. Gleichzeitig wird der lange für Herbivoren typische Spiraldarm drastisch zu einem Fleischfresserdarm verkürzt [2]. Während dieser morphologischen Umbauphase kann das Tier keine Nahrung aufnehmen, befindet sich also ebenfalls in einem echten Ruhestadium (Abbildung 4b). Allerdings bleibt die metamorphosierende Froschlarve auch während dieser Ruhe- oder Umbauphase beweglich und kann sich – im Gegensatz zu den allermeisten Puppen der holometabolen Insekten – durch Flucht ihren Prädatoren entziehen. Doch auch dieser Unterschied ist relativ, gibt es doch gerade bei aquatischen Holometabolenpuppen ebenfalls Mobilität, am auffälligsten bei den Stechmücken, aber auch bei anderen aquatischen Insekten. Auffällig sind hier z. B. die mit großen Mandibeln ausgestatteten Puppen der Schlammfliegen (Megaloptera) und Köcherfliegen (Trichoptera), die zum Schlupf selbstständig zur Wasseroberfläche kriechen oder schwimmen [3].

Zählt sich also auch bei den Amphibien die viel größere Investition der Metamorphose bei den Anuren gegenüber der sparsameren der Urodelen evolutiv in den jeweiligen Artenzahlen aus? Die Antwort ist eindeutig: Während es weltweit über 800 Urodelenarten gibt, stehen dem derzeit ca. 7.700 Anurenarten gegenüber, was also eine klare Analogie zu den Verhältnissen bei hemi- und holometabolen Insekten darstellt. Warum also sollte man dann nicht auch diese beiden Entwicklungsstrategien wie bei den Insekten durch eine analoge – zwar ähnliche, aber doch etwas verschiedene – Begrifflichkeit kennzeichnen? Den hemimetabolen Insekten entsprechen dann die hemimetamorphen Amphibien, den holometabolen Insekten entsprechen die holometamorphen Amphibien. Doch die Konvergenz der Metamorphosestrategien bei den so verschiedenen und schon seit der Trennung der Bilateria in Proto- und Deuterostomie separat evolvierten Gruppen geht noch weiter, betrachtet man verschiedene Sonderfälle der jeweiligen Evolutionsstrategien.

Äußere versus innere Befruchtung

Zunächst besteht jedoch ein genereller Unterschied zwischen den Amphibien und den hydrophilen Insekten. Denn während bei den Imagines der letzteren eine innere Befruchtung fast immer (Ausnahme z. B. Wasserkäfer wie der Gelbrand, *Dytiscus*) außerhalb des Wassers erfolgt, gibt es bei den Amphibien beide Möglichkeiten. Evolutiv älter ist sicher die äußere Befruchtung, wie sie von den ursprünglichen Urodelenfamilien und den allermeisten

Anuren (Abbildung 5) praktiziert wird. Das setzt allerdings subaquatische Paarungen voraus, da – wie bereits oben erwähnt – die Luft kein geeignetes Trägermedium für Spermatransport ist. Dennoch gibt es bei abgeleiteteren Urodelenfamilien wie etwa den Salamandriden auch subaquatische innere Befruchtung, die allerdings über ein hoch komplexes ▶ ethoökologisches Spermatophoren-Übergabesystem verläuft und z. B. auch für die ▶ westpaläarktischen Wassermolche (Gattungen *Triturus*, *Lissotriton*, *Mesotriton*, *Ommatotriton*) typisch ist. Da werden aus der drüsig geschwollenen Kloake des Männchens mit nach vorn umgelegtem Schwanz dem Weibchen Sexualhormone zugefächelt, die dieses veranlassen, dem sich rückwärts bewegendem Männchen zu folgen und – zielgenau chemisch dirigiert – die von diesem schließlich auf dem Bodengrund abgesetzte Spermatophore mit der Kloake aufzunehmen und so eine innere Befruchtung zu realisieren.

Warum, fragt man sich, betreiben die Molche diesen energetisch hohen Aufwand, obwohl es doch wie bei ihren anuren Verwandten unter Wasser auch eine äußere Befruchtung täte, bei der es nur darauf ankäme, die Abgabe der Gameten beider Geschlechter zeitlich zu koordinieren? Die Antwort findet sich bei ihren überwiegend oder ganz terrestrisch lebenden Verwandten, den Landsalamandern der Gattungen *Salamandra*, *Lyciasalamandra* und *Mertensiella*, deren Loslösung vom Wasser sich auch auf Paarungen an Land erstreckt. Hier lädt sich das Männchen das Weibchen in einer Art „Schwitzkasten“ durch Umklammern von dessen Vorderbeinen auf den Rücken und trägt es nur durch Vorwärtsschieben mit den Hinterbeinen so lange herum, bis dieses Paarungsbereitschaft signalisiert. Dann setzt das Männchen seine Spermatophore auf dem Waldboden ab (Abbildung 6) und biegt seinen Hinterkörper so zur Seite, dass das Weibchen mit seiner Kloake genau auf der Spermatophore landet und diese mit den Kloakenlippen aufnehmen kann. Möglicherweise ist dieses hoch abgeleitete Verhalten so irreversibel genetisch verankert, dass es auch bei zur Paarung ins Wasser zurückgekehrten Molchen im submersen Zustand als erblicher Ballast beibehalten werden musste.

Die Froschlurche sind hier konservativer. Sie begeben sich fast alle zur Paarungszeit ins Wasser, wo die Kopulation dann stets durch äußere Befruchtung durch ein das Weibchen monopolisierendes Männchen erfolgt, bei gleichzeitiger Laichabgabe des Weibchens. Das Thema Spermienkonkurrenz spielt hier eine wichtige Rolle. Die zahlenmäßig weit überwiegenden Männchen im Laichgewässer konkurrieren heftig um die wenigen Weibchen, von denen einige durch mehrere sie umklammernde Männchen sogar ertränkt werden können (Abbildung 7). Bei mehreren Arten sind die Männchen auch territorial und vertreiben Rivalen aus der Nähe ihrer Geschlechtspartnerinnen. Bei ihnen sind die Männchen – im Gegensatz zu den meisten anderen Fröschen – auch deutlich großwüchsiger als die Weibchen, und einige verfügen sogar durch



ABB. 5 Unterwasserpaarung der Wechselkröte (*Bufo viridis*), mit äußerer Befruchtung der Eier. Foto: M. Vences.

krallenartig zugespitzte Endphalangen oder messerscharfe ▶ Pollexdornen über gefährliche Waffen für diese Zweikämpfe.

Nur wenige Arten sind permanent aquatil wie die Wabenkröten und Krallenfrösche (Pipidae) oder einzelne Spezialisten wie z. B. der Titicaca-Riesenfrosch (*Telmatobius culeus*). Extra-aquatische Paarungen und Eiablagen gibt es dagegen bei schaumnestbauenden Arten (z. B. *Polypedates*, *Rhacophorus* in Asien, *Chiromantis* in Afrika), die aber nur direkt über Wasserflächen reproduzieren, aber auch bei Direktentwicklern ohne freies Larvenstadium (z. B. *Pristimantis* c. s. und *Rhinoderma* in Südamerika, *Arthroleptis*, *Ptychocheilus* und *Breviceps* in Afrika, *Rheobatrachus* in Australien). Die letztgenannten Direktentwickler können auch in sehr feuchtem terrestrischem Substrat erfolgreichen Spermatransfer zum Laich gewährleisten. Als einziger Anure besitzt der in kalten, reißenden Gebirgsbächen Nordamerikas sich paarende und laichende Schwanzfrosch (*Ascaphus truei*) ein intromittierendes Organ (einen umgewandelten ausgestülpten Enddarmabschnitt) und befruchtet intromittierend intern, um das Weggespültwerden seines Spermias im reißenden Fließwasser zu verhindern. Und die männlichen Individuen der dritten Gruppe der Lissamphibia, die Blindwühlen (Gymnophionen), haben wie letzterer ebenfalls ein intromittierendes Organ, das durch eine Ausstülpung der Kloakenwand gebildete Phallosome [2].



ABB. 6 Landpaarung des Feuersalamanders (*Salamandra atra*). Das zuunterst liegende Männchen beim Absetzen einer gallertigen Spermatophore. Foto M. Dehling.

ABB. 7 Spermienkonkurrenz: Mehrere Erdkrötenmännchen (*Bufo bufo*) versuchen, ein Weibchen zur Paarung zu umklammern und zu monopolisieren. Foto W. Böhme.



Einige Amphibien geben also den Lebensraum Wasser für ihren Nachwuchs – und damit die so erfolgreiche Niscentrennung hinsichtlich der Nahrungsressourcen – sekundär wieder auf – vermutlich aus Gründen der Prädatorenvermeidung für ihre Jugendstadien. Dafür nehmen sie auch komplexere Paarungsbiologien mit interner Befruchtung in Kauf, verzichten aber vor allem auf den Vorteil getrennter Nahrungsnischen von Larven und Adulten (Wasser- vs. Landlebensraum). Bei Insekten scheint dies häufig umgekehrt zu sein: Sie sind primär terrestrisch und haben wohl alle innere Befruchtung, sind daher auch bei der Paarung meist außerhalb des Wassers (Ausnahme Schwimmkäfer, s.o.). Die bei ihnen auftretenden sekundär aquatischen Larvenstadien werden als jeweilige (konvergente) ▶ Apomorphien gewertet [1]. Den Lebendgebäern bzw. den Direktentwicklern der Amphibien entsprechen die larviparen oder besonders die (bei einigen Dipteren) pupiparen Insekten [3, 4]. Bei diesen setzen die Weibchen statt Eiern bereits fertige Larven oder Puppen ab.

Strategien der Brutpflege

Die bei Hymenopteren häufigen und hochentwickelten Brutpflegestrategien gibt es bei ▶ K-Strategen mehrfach konvergent, auch unter den Fröschen wie den Pfeilgiftfröschen (Dendrobatiden), wo Weibchen die meist einzeln in wassergefüllten ▶ Phytotelmen abgesetzten Larven bei regelmäßigen Besuchen mit unbefruchteten „Nähreiern“ füttern. Bei den Wabenkröten (*Pipa*) besitzt die Rückenhaut „Plazentafunktion“, indem sie anschwillt und Brutkammern ausbildet, in denen sich die Larven bis zur Metamorphose entwickeln. Ein ähnliches Phänomen mit hochspezialisierter maternaler Hauternährung gibt es bei jungen Gymnophionen (*Boulengerula taitanus*) [5], wobei ja auch die Milchdrüsen der Säugetiere letztlich Deri-

vate dermalen Drüsen sind. Getoppt wird dies noch von einer anderen Blindwühle (*Siphonops*), deren Junge ein von den Eileiterzellen der Mutter produziertes milchartiges Sekret aufnehmen [6] – eine brandaktuelle Entdeckung!

Auch eine vermeintlich nur den Amphibien zukommende Besonderheit der Fortpflanzungsbiologie – nämlich das von mehreren Schwanzlurchen (obligat z. B. beim Grottenolm, Axolotl und anderen, fakultativ auch bei einigen einheimischen Molchen) bekannte, als Neotenie bezeichnete Erlangen der Geschlechtsreife im larvalen Zustand – gibt es, wenngleich selten, auch bei Insekten. Berühmtestes Beispiel ist der Käfer *Micromalthus debilis*, einzige Art seiner Familie, dessen Larven sich per Neotenie, sogar eingeschlechtlich (also parthenogenetisch) fortpflanzen können [4]. Parthenogenese gibt es jedoch bei Amphibien weder im larvalen noch im adulten Zustand, aber die sogenannte ▶ Gynogenese ist bei einigen nordamerikanischen Urodelen bekannt. Bei ihr ist – im Unterschied zur Parthenogenese – die Anwesenheit von Spermia erforderlich, ohne dass es aber zu einer Verschmelzung der Zellkerne kommt. Echte Parthenogenese, also eingeschlechtliche Fortpflanzung, ist lange von zahlreichen Insekten, seit einigen Jahrzehnten aber erst von einigen Reptilien bekannt (s. u.).

Reptilien als erste weitgehend vom Wasserleben unabhängige Landwirbeltiere

Obwohl Amphibien und Reptilien innerhalb der Tetrapoden stammesgeschichtlich nichts miteinander zu tun haben, wurden beide Gruppen über Jahrhunderte in einer wissenschaftlichen Teildisziplin, der Herpetologie (= Kriechtierkunde, von gr. *hérpein* = kriechen) zusammengefasst. Tatsächlich stehen Reptilien aber den Vögeln näher, mit denen sie die Gruppe der Sauropsiden bilden, die sich durch beschaltete, an Land abgelegte Eier auszeichnen. In diesen entwickeln sich die Föten in einer flüssigkeitsgefüllten Fruchtblase, dem neu entwickelten ▶ Amnion; sie haben sich also eine Art „mobiles Aquarium“ im Ei bewahrt und in den terrestrischen Lebensraum mitgenommen. Letzteres gilt auch für die zahlreichen lebendgebärenden Reptilien und selbstverständlich auch für die Säugetiere. Bei diesen gibt es sogar einige sehr ursprüngliche Vertreter, die noch beschaltete Eier ablegen, die geschlüpften Jungen dann aber schon mit einem milchartigen Sekret versorgen, nämlich die Kloakentiere (Monotremata) der australischen Faunenregion.

Unabdingbar an Land: ein intromittierendes Organ

Doch damit sich die Reptilien komplett vom Lebensraum Wasser lösen konnten, musste zunächst auch eine auf dem Land stattfindende Paarung realisiert werden. Hierzu bedurfte es eines besonderen intromittierenden Organes, um das Spermia in den weiblichen Körper zu bringen und dort die Befruchtung der Eier zu ermöglichen, da, wie

oben gesagt, die Luft kein geeignetes Trägermedium für Sperma ist. Was den Insektenmännchen ihr Aedeagus (Phallus, Penis [7]) ist (Abbildung 1a), ist für männliche Schildkröten (Abbildung 1b) und Krokodile der unpaare Penis, wie ihn – ursprungs- und lagegleich – auch die ursprünglichen Vögel (Straußen- und Entenvögel) und die Säugetiere besitzen. Doch bei einigen Gruppen ging diese Neuerung sekundär wieder verloren, nämlich bei den zu den Lepidosauriern gehörenden Brückenechsen oder Tutaras (Gattung *Sphenodon*) und bei den modernen Vögeln. Sie alle müssen sich mit einem sekundenschnellen Aufeinanderpressen ihrer jeweiligen Kloaken behelfen. Aber die Vertreter der Schwesterguppe der Brückenechsen innerhalb der Lepidosaurier, die Schuppenkriechtiere (Squamata), haben dann eine Neubildung hervorgebracht, die allerdings paarig ist. Diese paarigen Organe werden – im Sinne zweier Hälften – Hemipenes (Singular Hemipenis) genannt. Allerdings werden diese Organe jeweils einzeln eingesetzt: Nähert sich das Männchen dem Weibchen von dessen rechten Seite, krümmt es sich nach links und benutzt den linken Hemipenis (Abbildung 8), kommt es von links, benutzt es das rechte Organ.

Wie bei den allermeisten Insekten auch zeichnen sich die Begattungsorgane männlicher Squamaten durch eine hohe strukturelle zwischenartliche Vielfalt aus [2, 8, 9]. Es finden sich sowohl interne als auch externe Sonderstrukturen in bzw. auf den Organen, die übrigens – wie auch bei den unpaaren echten Penes der Schildkröten, Krokodile und ursprünglichen Vögel – das Sperma über eine auf dem Organ liegende Samenrinne, den *Sulcus spermaticus*, transportieren. Korrelationen in der Ausgestaltung bestehen zum einen zwischen dem Bauplan des Tieres selbst und seiner Genitalstruktur: So haben zum Beispiel beinlose Squamaten, wie einige Schleichen und sämtliche



ABB. 8 Durch Flankenbiss und Hinterbein am Weibchen verankert: Paarung zweier Kykladeneidechsen (*Podarcis erhardii*). Foto: B. Trapp.

Schlangen, die sich bei der Kopula nur mit einem Nackenbiss, nicht aber mit den Extremitäten zusätzlich am Weibchen befestigen können, stärker bestachelte Hemipenes, mit denen sie sich im Weibchen verankern (Abbildungen 9a und b).

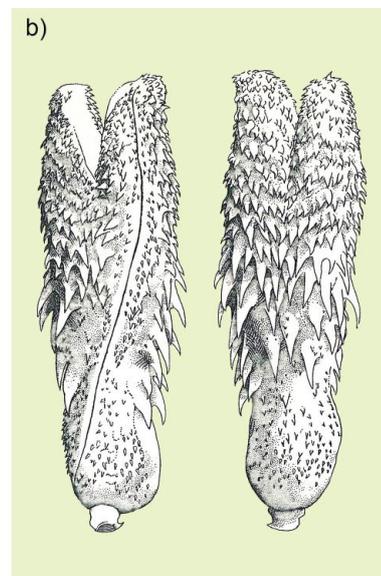


ABB. 9 Paarung bei der Schlingnatter (*Coronella austriaca*). a) Das Männchen ist nur durch seinen Hemipenis im Weibchen verankert, b) Sulcal- und Asulcalansicht des bedornten Hemipenis. Foto: W. Böhme, Grafik aus [15].

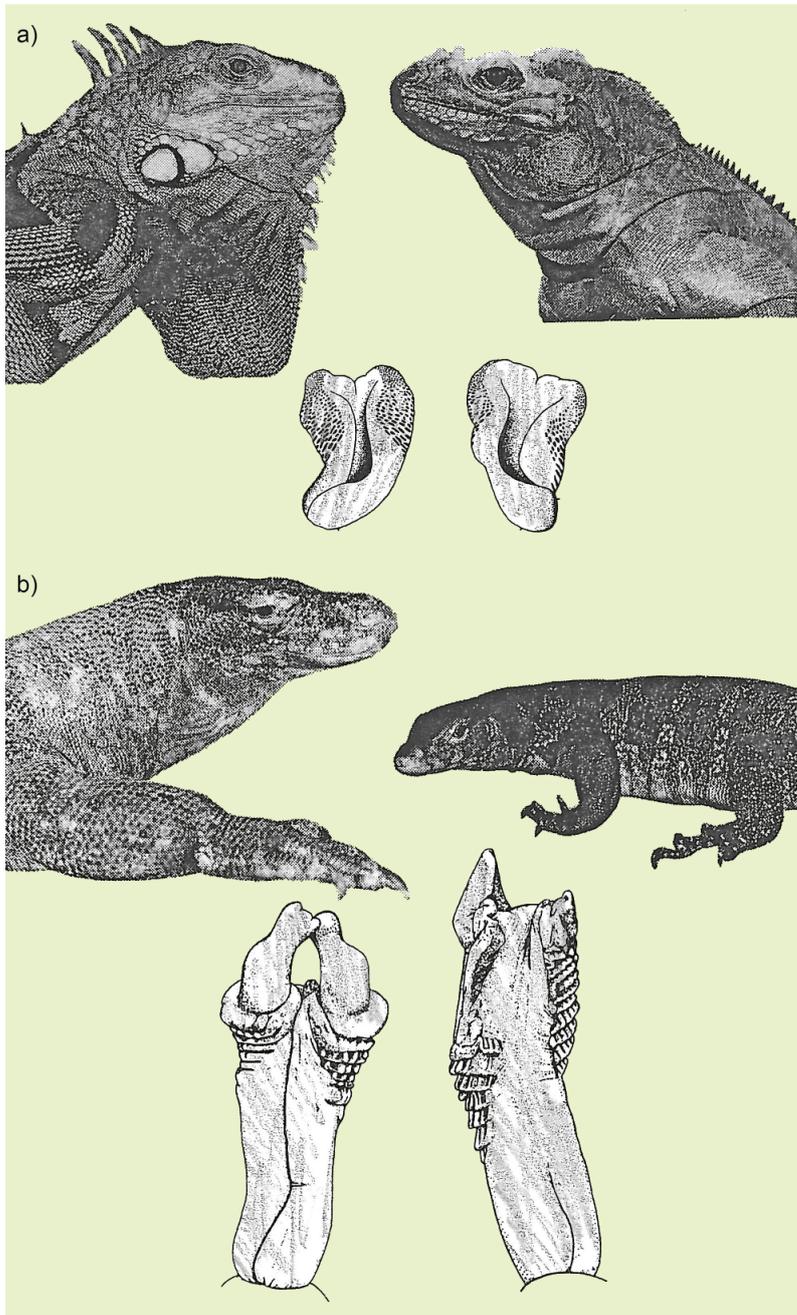


ABB. 10 Einfluss epigamischer Strukturen auf die Genitalmorphologie aufgrund sexueller Selektion seitens der Weibchen: a) Grüner Leguan (*Iguana iguana*) und Nashornleguan (*Cyclura cornuta*), Männchen mit Kopfformen und einheitlicher Genitalstruktur; b) Komodowaran (*Varanus komodoensis*), und Bindenwaran (*Varanus salvator*), Männchen ohne epigamische Strukturen, dafür mit krass verschiedenen Genitalien. Grafik aus [9].

Form und morphologische Ausgestaltung des Hemipenis einiger Schlangen können allerdings auch mit dem Verhalten und dem Fortpflanzungserfolg korreliert sein. So besitzen die zu den Boas zählenden Hundskopfschlinger (*Corallus caninus*) einfache, unbedornete bzw. unbestachelte, zipflige Hemipenes, deren mangelnde Verankerungsfähigkeit in der weiblichen Kloake durch eine feste

Umwicklung des Hinterkörpers des Weibchens dieser Würgeschlangen durch den des Männchens kompensiert wird. Dabei zeigte sich, dass es zu serialen Kopulationen kam, wobei stets die Körperseite gewechselt, also abwechselnd der linken oder der rechten Hemipenis benutzt wurde. Die Funktion dieses Verhaltens wurde deutlich, als man das Männchen nach der ersten Kopula an einer weiteren hinderte. Ergebnis: Das Weibchen setzte danach nur die Hälfte der arttypischen Zahl an Jungtieren ab. Offenbar konnte bei einer Paarung der unpaarige, zipflige Hemipenis nur eine der beiden Ovidukt-Öffnungen in der Kloake des Weibchens erreichen und mit Sperma versorgen, so dass für die zweite eine weitere Kopula von der anderen Körperseite mit dem anderen Hemipenis nötig war. Bei der verwandten Gartenboa (*Epicrates cenchria*) hingegen ist der Hemipenis der Männchen wie bei *Coronella* (Abbildung 9b) tief gegabelt, was auch für die Samenrinne gilt. Hier reicht offenbar eine einzige Kopula aus, um beide Ovidukt-Öffnungen in der Kloake des Weibchens mit Sperma zu versorgen und so den optimalen Fortpflanzungserfolg zu erzielen [9].

Bei Echsen sind die Hemipenes von folgendem ethoökologischen Umstand beeinflusst: Verfügen die betreffenden männlichen Echsenarten, z. B. Leguane oder Chamäleons, über epigamische Sondermerkmale wie Kopfhörner, Nacken- und Rückenkäme, Kehlsäcke etc., sind ihre Hemipenes zwischen den Arten oft wenig differenziert (Abbildung 10a). Ähneln sich die Arten aber äußerlich, unterscheiden sich ihre Genitalstrukturen oft dramatisch voneinander (Abbildung 10b) – ein offenbar durch sexuelle Selektion seitens der Weibchen verursachter Effekt [10]. Dieser Zusammenhang wurde auch experimentell belegt: Entfernte man z. B. einem Chamäleonmännchen die geschlechtstypischen epigamischen Merkmale wie Kopfanhänge, zeigten die Weibchen kein Interesse mehr und waren paarungsunwillig. Eine Insektenparallele: Haben z. B. die Männchen verschiedener Heuschreckenarten ein differenziertes Laut- bzw. Zirp-Repertoire, ähneln sich ihre Genitalstrukturen sehr. Sind sie dagegen wenig stimmfreudig oder gar stumm, besitzen sie stark divergierende Genitalstrukturen [9]. Der Einfluss auf den Paarungserfolg ist derselbe wie bei dem Wirbeltierbeispiel.

Die Anlage des unpaaren Penis der Schildkröten, Ratiten (Laufvögel), Entenvögel und Säugetiere gibt es bekanntlich bei Weibchen ebenfalls, wo sie zur Klitoris differenziert ist. Dass aber auch die paarigen Hemipenes der Squamaten ursprungs- und lagegleiche Entsprechungen bei den Weibchen haben [11, 12], die wir dementsprechend als Hemiclitorales bezeichnet haben, ist noch nicht so lange bekannt [13]. Sie sind miniaturisierte Ebenbilder der Hemipenes (Abbildungen 11a und b) und können von ganz winzig bis fast so groß wie die männlichen Organe sein und alle Strukturelemente der männlichen Organe in verkleinerter Form zeigen (Samenrinne, Stützelemente, äußere Bedornungen etc). Diese allerdings bei den Männchen stets deutlicher ausgeprägten Strukturen

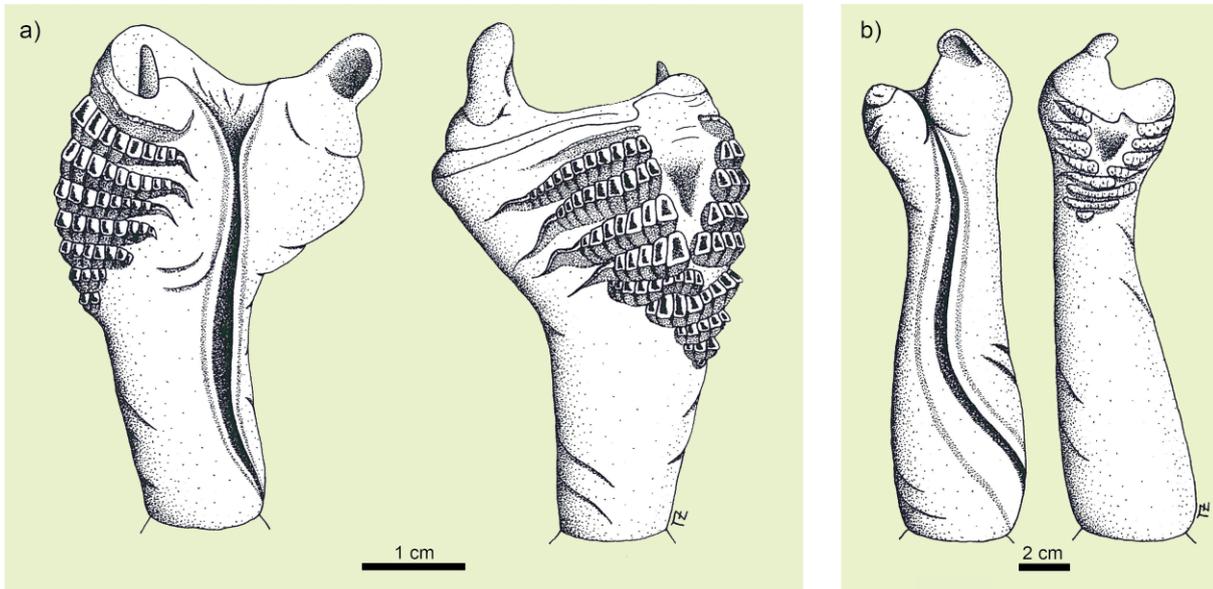


ABB. 11 Sulcal- und Asulcalansicht des a) Hemipenis und b) der Hemictitoris des Philippinenwarans (*Varanus olivaceus*). Grafik aus [9].

sind – wie bei den Insektengenitalien auch – meist artspezifisch und können außer taxonomischen auch zuverlässige phylogenetische Informationen liefern [14]. Ein gewichtiger Unterschied besteht jedoch darin, dass die männlichen und weiblichen äußeren Genitalien der Reptilien (und der übrigen Amnioten) jeweils ursprungs- und lagegleiche Strukturen sind, während eine solche Homologisierung männlicher und weiblicher äußerer Genitalien

bei Insekten durch eine viel höhere Komplexität – u. a. auch durch die Lage auf verschiedenen Körpersegmenten [11, 12] – nicht möglich erscheint.

Eierleger versus Lebendgebärer

Unter den Reptilien sind die Schildkröten und die Krokodile obligat Eier legend. Die Eischale besteht aus einer kräftigen Kalkschicht und ist damit dem Vogelei vergleichbar. Bei den Schuppenkriechtieren (Squamaten) – den Echsen und Schlangen also – ist die Eischale dagegen in den allermeisten Fällen häutig, pergamentartig. Diese Eigenschaft des Squamaten-Eies liefert auch den Erklärungsschlüssel, warum es keine lebendgebärenden Schildkröten, Krokodile und Vögel gibt. Das für letztere angeführte Argument, die Föten wären für die fliegenden Arten zu schwer, zieht nicht, da die Fledertiere zeigen, dass es auch anders geht und das Gewicht der Embryonen für sie kein Problem darstellt. Es sind die Geckoartigen (Gekkota), die hier beim Verständnis weiterhelfen: Diese legen – eine Ausnahme bei den Squamaten – meist Eier mit einer festen Kalkschale, während so gut wie alle anderen Echsen und auch Schlangen pergamentschalige Eier legen, die während der Inkubation durch Wasseraufnahme sogar wachsen. Und bei den allermeisten dieser Gruppen mit pergamentartigen Eiern gibt es lebendgebärende Arten, wobei Lebendgebären hier ▶ Ovoviviparie heißt, der Keim also durch Dotter (lecitotroph) ernährt wird. Und selbst eine durch den mütterlichen Organismus (matrotroph) erfolgende Ernährung, also echte ▶ Viviparie, gibt es durch plazentaähnliche Bildungen zwischen Fötus und ▶ Allantois bei einigen Arten, z. B. bei Skinken und Giftnattern. Bei den Geckoartigen jedoch gibt es nur in der Familie Diplodactylidae ovovivipare Arten, und nur diese Gruppe legt keine kalk-, sondern pergamentschalige Eier.



ABB. 12 Hohe Populationsdichte im Freiland bei der männchenlosen parthenogenetischen Felseidechse *Darevskia armeniaca*. Foto W. Bischoff.

GLOSSAR

Allantois embryonaler Harnsack, aus einer Ausstülpung des Enddarms gebildete Membran im amniotischen Ei der Reptilien, Vögel und Säugetiere.

ametabol: ohne Verwandlung während der Entwicklung, d. h. Jungtiere gleichen beim Schlupf bereits den Elterntieren, haben also eine larvenlose, direkte Entwicklung.

Amnion: zusätzliche Embryonalhülle (Fruchtblase), die die Eizeitigung vom Wasser unabhängig macht.

Apomorphie: eine abgeleitete, d. h. nicht ursprüngliche Merkmalsausprägung.

Bilateria: entlang der Längsachse symmetrisch gebaute Tiere.

epigamisch: ein Merkmal, das im Kontext der Paarungsbiologie steht, z. B. der Partnererkennung.

ethoökologisch: Anpassung, die sowohl durch das Verhalten als auch die Umwelt bestimmt wird.

Gynogese: eingeschlechtliche Fortpflanzung, bei der aber im Gegensatz zur Parthenogenese (Jungfernzeugung) Spermium anwesend sein muss, ohne dass es zu einer Kernverschmelzung kommt.

hemimetabol: mit unvollständiger Verwandlung, d. h. Larvalentwicklung ohne ein Puppenstadium.

holometabol: mit vollständiger Verwandlung, d. h. Larvalentwicklung mit einem Puppenstadium.

intromittierendes Organ: für erfolgreiche Paarungen an Land erforderliche Struktur (bei Reptilien Penis oder Hemipenis, bei Insekten Aedeagus), mit der ein Männchen seine Gameten (Spermium) in den weiblichen Organismus hineintransportiert.

K-Strategie: an der Aufnahme-Kapazität des Lebensraumes orientierte Fortpflanzungsstrategie mit geringerer Ei- oder Jungenzahl bei längerer Brutpflege.

Ovoviviparie: Absetzen lebender Jungtiere, die vorher nur durch Dotter ernährt wurden, also das Zurückhalten von Eiern bis zur Schlupfreife im mütterlichen Organismus.

Phytotelmen: trichterförmige Blattachseln tropischer Pflanzen, in denen sich Regenwasser sammelt, das von Fröschen zur Kaulquappenaufzucht genutzt werden kann.

Pollexdorn: stark verhornter, spitzer und messerscharfer Fortsatz des Daumenballens mancher Froschmännchen in den Tropen, die sich damit bei Revierkämpfen schwere Verletzungen zufügen können.

polyphag: von verschiedenartiger Nahrung lebend, vs. monophag.

Proto- und Deuterostomier: Urmünder vs. Neumünder, je nachdem, ob der Urmund der Gastrula Mundöffnung bleibt und eine Afteröffnung dazu gebildet wird (Protostomier) oder umgekehrt (Deuterostomier).

Ratiten: Sammelbegriff für die stammesgeschichtlich ursprünglichen, flugunfähigen Laufvögel (Strauße, Nandus, Kasuare, Emus und Kiwis).

Viviparie: Gebären lebender Jungtiere, die über den mütterlichen Organismus durch Stoffwechselfaustausch über ein Verbindungsorgan (Plazenta) ernährt wurden.

westpaläarktisch: den Westteil der paläarktischen tiergeographischen Region (Europa, Nordafrika und Westasien) bewohnend.

Es scheint, als könne eine Schalendrüse, die die feste, verkalkte Eischale vor der Ablage des Eis produziert und damit Viviparie unmöglich macht, wenn einmal ausgebildet, evolutiv nicht wieder abgeschafft werden.

Keine Männchen – kein Spermium vonnöten, aber

Was bei vielen Insektengruppen häufig vorkommt, ist bei Wirbeltieren am Beispiel von Reptilien erst um 1960 entdeckt worden: Fortpflanzung geht auch ohne Männchen, so dass das Problem einer Spermaübertragung auf dem Trockenen obsolet wird. Der russische Zoologe und Herpetologe Ilja S. Darewskij entdeckte an den Felseidechsen des Kaukasusgebietes – heute ihm zu Ehren als Gattung *Darevskia* klassifiziert – dass es dort mehrere männchenlose Populationen gibt, die als „Agamospezies“ behandelt und benannt wurden. Der Wegfall von Partnersuche und -findung führt zu erhöhter Fortpflanzungsrate und Individuendichte (Abbildung 12). Allerdings sind die Individuen kaum an sich verändernde Umweltparameter anpassungsfähig, da sie durch die klonale Vererbung keine nennenswerte genetische Variabilität aufweisen. Sie sind also erdgeschichtlich eher ephemere evolutive Sackgassen. Einen Generationswechsel zwischen sich asexuell und sexuell fortpflanzenden Generationen gibt es im Gegensatz zu den Insekten bei ihnen nicht.

Zusammenfassung

Da geschlechtliche Fortpflanzung außerhalb des Wassers einen direkten Spermiumtransfer vom Männchen in das Weibchen erfordert, verbleiben die meisten Amphibien – die ersten Pioniere des Landgangs unter den Wirbeltieren – zur Reproduktion mit äußerer Befruchtung im Wasser oder kehren dorthin zurück, um ihren Laich submers abzusetzen. Erst die Reptilien machten sich auch reproduktiv vom Wasser unabhängig und entwickelten Organe zu innerer Befruchtung. Auch die landlebenden Arthropoden haben eine Vielzahl primärer und sekundärer geschlechtsspezifischer Strukturen zum Spermiumtransfer an Land entwickelt. Die bei der hier dominierenden Gruppe der Insekten vorhandenen Larvenstadien weisen hinsichtlich ihrer ökologischen Funktion erstaunliche Parallelen zu den Larven der Amphibien auf. Die reproduktiven Anpassungen der Reptilien zur völligen Unabhängigkeit vom aquatischen Lebensraum haben zur Entwicklung intromittierender Organe zum Spermiumtransfer geführt, deren variable, teils bizarre Strukturen von phylogenetischen, aber auch ethoökologischen Faktoren beeinflusst sind.

Summary

Air is unsuitable for sperm transfer

Sexual reproduction in the absence of water requires direct sperm transfer from the male into the female. Most amphibians – the first vertebrate pioneers of conquering terrestrial habitats – remain for reproduction with external fertilization in the water or return to it to deposit their

spawn submerged in water. With regard to reproduction, reptiles were the first group that became independent from water and they developed organs for internal fertilization. Terrestrial arthropods have also developed a variety of primary and secondary sex-specific structures for the transfer of sperm on land. The dominating group, the insects, are characterized by their larval stages, which in respect to their ecological function, show striking parallels to the larval stages of the amphibians. The reproductive adaptations of the reptiles to become completely independent from an aquatic habitat have led to the development of intermittent organs for the transfer of sperm, whose variable, partly bizarre structures are influenced by phylogenetic, but also etho-ecological factors.

Schlagworte

Amphibien, Reptilien, Insekten, Larven, Metamorphose, holometabol, hemimetabol, spezifisch ausgeformte Kopulationsorgane, Eierlegen, Lebendgebären, Viviparie

Danksagung

Ich danke den Professoren Dr. Stefan Lötters, Universität Trier, und Dr. Michael Schmitt, Universität Greifswald, für kritische Hinweise zu einer vorigen Manuskriptversion. Letzterer sowie auch Wolfgang Bischoff, Magdeburg, PD Dr. Maximilian Dehling, Koblenz, Dr. Dieter Stüning, Bonn, Benny Trapp, Wuppertal, und Prof. Dr. Miguel Vences, Braunschweig, steuerten Fotos bei.

Literatur

- [1] W. Westheide, G. Rieger (2013). Spezielle Zoologie. Teil 1: Einzel- und wirbellose Tiere. Berlin, Heidelberg (Springer Spektrum), 3. Auflage, 859 S.
- [2] W. Westheide, G. Rieger (2015). Spezielle Zoologie, Teil 2: Wirbel- oder Schädeltiere. Berlin, Heidelberg (Springer Spektrum), 3. Auflage, 711 S.
- [3] M. Schmitt (2022). Insekten-Wunderwelt – Einstieg in die Entomologie. Berlin (Springer), 348 S.
- [4] K. Dettner, W. Peters (1999). Lehrbuch der Entomologie. Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm (Gustav Fischer), 921 S.
- [5] A. Kupfer et al. (2006). Parental investment by skin feeding in a caecilian amphibian. *Nature*, Letters 440, 926–929.
- [6] P. L. Mallho-Fontana et al. (2024). Milk provisioning in oviparous caecilian amphibians. *Science* 383, 1092–1095.

- [7] J. Meisenheimer (2011). Geschlecht und Geschlechter im Tierreiche 1. Die Natürlichen Beziehungen. Jena (Gustav Fischer), 896 S.
- [8] W. Böhme (1988). Zur Genitalmorphologie der Sauria: funktionelle und stammesgeschichtliche Aspekte, Bonn. Zool. Monogr. 27, 1–176.
- [9] T. Ziegler, W. Böhme (1997). Genitalstrukturen und Paarungsverhalten bei squamaten Reptilien, speziell der Platynota, mit Bemerkungen zur Systematik, *Mertensiella* 8, 1–210.
- [10] W. G. Eberhard (1985). *Sexual Selection and Animal Genitalia*. Cambridge/Massachusetts and London (Harvard University Press), xii + 244 pp.
- [11] A. Remane (1971). Die Grundlagen des Natürlichen Systems, der Vergleichenden Anatomie und der Phylogenetik, Königsstein/Taunus (Otto Koeltz), Nachdruck, 364 S.
- [12] V. Storch, U. Welsch (1997). *Systematische Zoologie*. Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm (Gustav Fischer), 804 S.
- [13] W. Böhme (1995). Hemilitoris discovered: a fully differentiated erectile structure in female monitor lizards (*Varanus* spp.) (*Reptilia: Varanidae*), *J. zool. Syst. evol. Res.* 33, 129–132.
- [14] W. Böhme, T. Ziegler (2008). A review of iguanian and anguimorph lizard genitalia (Squamata: Chamaeleonidae, Varanoidea, Shinisauridae, Xenosauridae, Anguinae) and their phylogenetic significance, *J. zool. Syst. Evol. Res.* 47, 189–202.
- [15] W. R. Branch, D. Wade (1976). Hemipenial morphology of British snakes, *Brit. J. Herpetol.* 5, 548–553.

Verfasst von:



Wolfgang Böhme, Jahrgang 1944, Studium der Zoologie, Botanik und Paläontologie an der Universität Kiel mit anschließender Promotion 1971, seitdem Kurator für Herpetologie am Zoologischen Forschungsmuseum Alexander Koenig in Bonn, ab 1992 dessen Stellvertretender Direktor. Ab 1988 Dozent für Zoologie an der Universität Bonn, Ernennung zum apl. Professor 1996. Seit 2010 als Ruhestandler ehrenamtlich am Museum Koenig tätig.

Korrespondenz:

Prof. Dr. Wolfgang Böhme
Leibniz-Institut zur Analyse des
Biodiversitätswandels (LIB)
Museum Koenig
Adenauerallee 127
53113 Bonn
E-Mail: w.boehme@leibniz-lib.de

SYMPOSIUM: „BEREDTES SCHWEIGEN. NS-EUGENIKVERBRECHEN UND IHRE FOLGEN“

Noch heute zeigen sich die Spuren jahrzehntelangen Leugnens und Verdrängens der nationalsozialistischen Eugenikverbrechen. Nur wenige wissen, was damals in den Krankenhäusern, Gesundheitsämtern, Heilanstalten, Kinder- und Fürsorgeheimen geschah. Ein Projekt, das in der Bildungsagenda NS-Unrecht von der Stiftung Erinnerung, Verantwortung und Zukunft (EVZ) und dem Bundesministerium der Finanzen (BMF) gefördert wird, macht vergessene Orte sowie Lebenswege Betroffener sichtbar und verdeutlicht die Dimension der Verbrechen. Ziel ist es, die eigenen Denkweisen über und den Umgang mit Kranken, sozial Randständigen und Menschen mit Behinderung zu reflektieren.

Auf der Tagung „Beredtes Schweigen. NS-Eugenikverbrechen und ihre Folgen“, die am 30. November 2024 am Institut für Zoologie und Evolutionsforschung der Universität Jena stattfindet, werden die folgenden Themen behandelt: Umgang mit Menschen mit Behinderung in der NS-Zeit und heute, Bildungsarbeit an außerschulischen Lernorten zu NS-Eugenikverbrechen, Biografiearbeit und künstlerische Angebote zu NS-Eugenikverbrechen. Die Veranstaltung dient dabei dem Austausch und der Vernetzung, um u. a. die Perspektiven von Künstler/-innen, Lehrenden, Überlebenden der NS-„Euthanasie“ bzw. Angehörigen der Opfer, Historiker/-innen und Politiker/-innen zusammenzubringen. Programm, Anmeldung und weitere Informationen finden sich unter www.beredtes-schweigen.de/symposium-beredtes-schweigen.





Verband | Biologie, Biowissenschaften
& Biomedizin in Deutschland

**GEMEINSAM
FÜR DIE**

BIEWISSENSCHAFTEN

Gute Gründe, dem VBIO beizutreten:

- Werden Sie Teil des größten Netzwerks von Biowissenschaftlern in Deutschland.
- Unterstützen Sie uns, die Interessen der Biowissenschaften zu vertreten.
- Nutzen Sie Vorteile im Beruf.
- Bleiben Sie auf dem Laufenden – mit dem VBIO-Newsletter und dem Verbandsjournal „Biologie in unserer Zeit“.
- Treten Sie ein für die Zukunft der Biologie.



www.vbio.de

Jetzt beitreten!

