

Laichphänologie und Embryolarvalentwicklung der Erdkröte, *Bufo bufo* LINNAEUS, 1758 in stehenden und fließenden Gewässern (Anura: Bufonidae)

Spawning and embryo-larval development of the Common Toad
Bufo bufo LINNAEUS, 1758, in stagnant and running waters
(Anura: Bufonidae)

BARBARA SCHECKENHOFER & ANDREA WARINGER-LÖSCHENKOHL
& JOHANN WARINGER

ABSTRACT

The influence of different flow conditions on spawning and development of the Common Toad *Bufo bufo* LINNAEUS, 1758, were examined by comparing two breeding sites, a fishpond (Wolfsteich) and a brook (Kajabach). It has been shown that areas with a flow velocity of 10 cm.s^{-1} were also chosen for spawning. But the duration of development of the embryos in the Kajabach stream was significantly longer than in the Wolfsteich pond. Furthermore, optimal conditions for larval development in the Kajabach stream under low flow velocity conditions have been shown. There were also significant differences related to stage, body measurements and body mass between larvae of the Kajabach stream and those of the Wolfsteich pond. According to that, larvae in the Wolfsteich pond were averagely less developed than those in the Kajabach stream, even though the larval period was shorter. Also the larvae in the Wolfsteich pond were plump and heavier than those in the Kajabach stream. The reasons for these differences may mainly rely on the differences in water temperature and available food.

KURZFASSUNG

Im Vergleich zwischen einem Fischteich (Wolfsteich) und einem Bach (Kajabach) wurden die Auswirkungen unterschiedlicher Strömungsbedingungen auf Laichverhalten und Entwicklung der Erdkröte *Bufo bufo* LINNAEUS, 1758 untersucht. Es wurde festgestellt, daß beim Ablaiichen auch Bereiche von Fließgeschwindigkeiten bis zu 10 cm.s^{-1} von den Tieren gewählt werden. Die Entwicklungsdauer der Embryonen fiel jedoch im Kajabach signifikant länger aus als im Wolfsteich. Des Weiteren konnten optimale Bedingungen für die Larvalentwicklung im Kajabach bei geringen Strömungsverhältnissen dokumentiert werden. Hier fanden sich signifikante Unterschiede in Bezug auf Stadien, Körpermaße und Körpermasse zwischen den Larven des Kajabaches und jenen des Wolfsteiches. Im Wolfsteich waren demnach die Larven durchschnittlich weniger weit entwickelt als im Kajabach, wenngleich die Larvalperiode kürzer ausfiel, sie wiesen einen gedrungeneren Körperbau auf und waren schwerer. Die Gründe für diese Unterschied dürften vornehmlich mit den Wassertemperaturunterschieden und der verfügbaren Nahrung zusammenhängen.

KEY WORDS

Amphibia: Anura: Bufonidae: Common Toad, *Bufo bufo*, running waters, stagnant waters, flow velocity, embryonic and larval development, spawning, Lower Austria

EINLEITUNG

Als Laichgewässer der Erdkröte *Bufo bufo* LINNAEUS, 1758 werden mehrheitlich dauerhafte, vegetationsreiche Stillgewässer genannt (z.B. BEINLICH et al. 1992; CABELA et al. 1997; WÜBBENHORST & LINDEINER 1998); seltener beschrieben ist das Ablaiichen in Fließgewässern, wie z. B. schnell fließenden Bächen oder langsam fließenden Altarmen (BESHKOV et al. 1986; WIESBAUER

1991; KUHN 2006; UTHLEB 1998; WARINGER-LÖSCHENKOHL et al. 2001; WARINGER-LÖSCHENKOHL 2007).

Die vorliegende Arbeit vergleicht zwei Laichgewässer der Erdkröte, ein Stillgewässer (Wolfsteich) und dessen Abfluß, den Kajabach, im Nationalpark Thayatal (Niederösterreich). Untersucht wurden die Auswirkungen unterschiedlicher Strömungsbe-

dingungen auf das Laichverhalten und auf die Embryonal- und Larvalentwicklung bis zur Metamorphose der Erdkröten. Der Ver-

öffentlichung liegen die Daten der Diplomarbeit von SCHECKENHOFER (2009) zugrunde.

UNTERSUCHUNGSGEBIET, MATERIAL UND METHODEN

Untersuchungsgebiet

Beim untersuchten Gebiet handelt es sich um einen 1,5 km langen Abschnitt des Kajabaches und ein aufgestautes stehendes Gewässer, den Wolfsteich, der als Fischteich genutzt und vom Kajabach durchflossen wird (siehe WARINGER-LÖSCHENKOHL et al. 2010).

Der Kajabach ist ein tief eingeschnittener Zubringer der Thaya. Das untersuchte Gebiet erstreckt sich bachaufwärts von der Einmündung des Kajabaches in den Sagteich bis zur Einmündung des Kajabaches in den Wolfsteich. Der Kajabach ist im untersuchten Verlauf weitgehend naturbelassen und weist zahlreiche Mäanderstrecken auf. Es herrscht fast durchgehend Kronenschluß und somit starke Beschattung des Baches vor. Das Sediment des Bachgrundes ist unmittelbar unterhalb des Wolfsteiches schlammig, danach besteht es jedoch aus Kies und Blockwerk, gelegentlich auch aus Sand. Die Bachbreite beträgt durchschnittlich 1,5 m, als Maximaltiefe des Gewässers wurde 1 m gemessen. Der Bach ist reich an aufgestauten Totholz-Ablagerungen, welche strömungsberuhigte Bereiche im Gewässer schaffen, und da das Bachufer von Bäumen gesäumt wird, finden sich außerdem zahlreiche Wurzeln als strukturgebende Elemente im Uferbereich.

Der Wolfsteich weist eine Uferlänge von etwa 161 m auf, die Tiefe ist sehr gering und beträgt höchstens 1,5 m, der Untergrund ist schlammig.

Material und Methoden

Untersuchungsrelevante Daten wurden im Zeitraum zwischen dem 03. März und dem 28. Juni 2007 aufgenommen. Dabei wurde das Untersuchungsgebiet unmittelbar vor und während der Anwanderung der Kröten zum Laichplatz sowie während der gesamten Ab- und Laichphase bis zum Schlüpfen der Embryonen markierter Gelege täglich begangen.

Zur Markierung der Laichschnüre wurden hierfür Säckchen aus feinem Netzstoff (Vorhangstoff) angefertigt, die einen Durchmesser von etwa zehn Zentimetern aufwiesen und mit einem beschrifteten Korkplättchen versehen waren. Von frisch abgelegten Laichschnüren, möglichst solchen, deren Ablage beobachtet worden war, wurde je ein etwa zehn Zentimeter langes Schnurstück entnommen, und von jeweils zehn Eiern das Entwicklungsstadium mittels Tabelle (GOSNER 1960) und Feldlupe bestimmt. Anschließend wurden die Laichschnurstücke in beschriftete Säckchen eingebracht, die verschlossen und am ursprünglichen Laichablageplatz möglichst lagegetreu befestigt wurden.

Während der Larvalentwicklung erfolgte die Begehung zur Datenaufnahme einmal wöchentlich bis zu jenem Zeitpunkt, an dem keine Larven mehr auffindbar waren.

In einem typischen Abschnitt des Kajabaches wurde ein Pegel gesetzt und bei jeder Begehung abgelesen. Außerdem wurden bei jeder Begehung die Extremwerte der Wasser- und der Lufttemperatur mit Minimax-Thermometern gemessen.

Adulte und Laich

Die anwandernden Kröten wurden wetterabhängig in ein- oder mehrtägigen Intervallen gezählt (am 31.03., 02.04., 04.-06.04., 11.04. und 15.04.). Von den anwandernden Kröten wurde das Geschlecht und der Paarungsstatus erfaßt. Die Laichmenge wurde an jeweils zwei Terminen im Wolfsteich (07. April und 17. April) und im Kajabach (12. April und 17. April) protokolliert, wobei die Laichschnuranzahl bei größeren Ansammlungen geschätzt wurde. Hierfür wurden pro Quadratmeter Laichfläche 70 Gelege angenommen, welche jeweils aus zwei vollständigen Laichschnur-Strängen bestehen.

Ab dem Zeitpunkt des erstmaligen Auffindens von Laichschnüren wurden zwecks

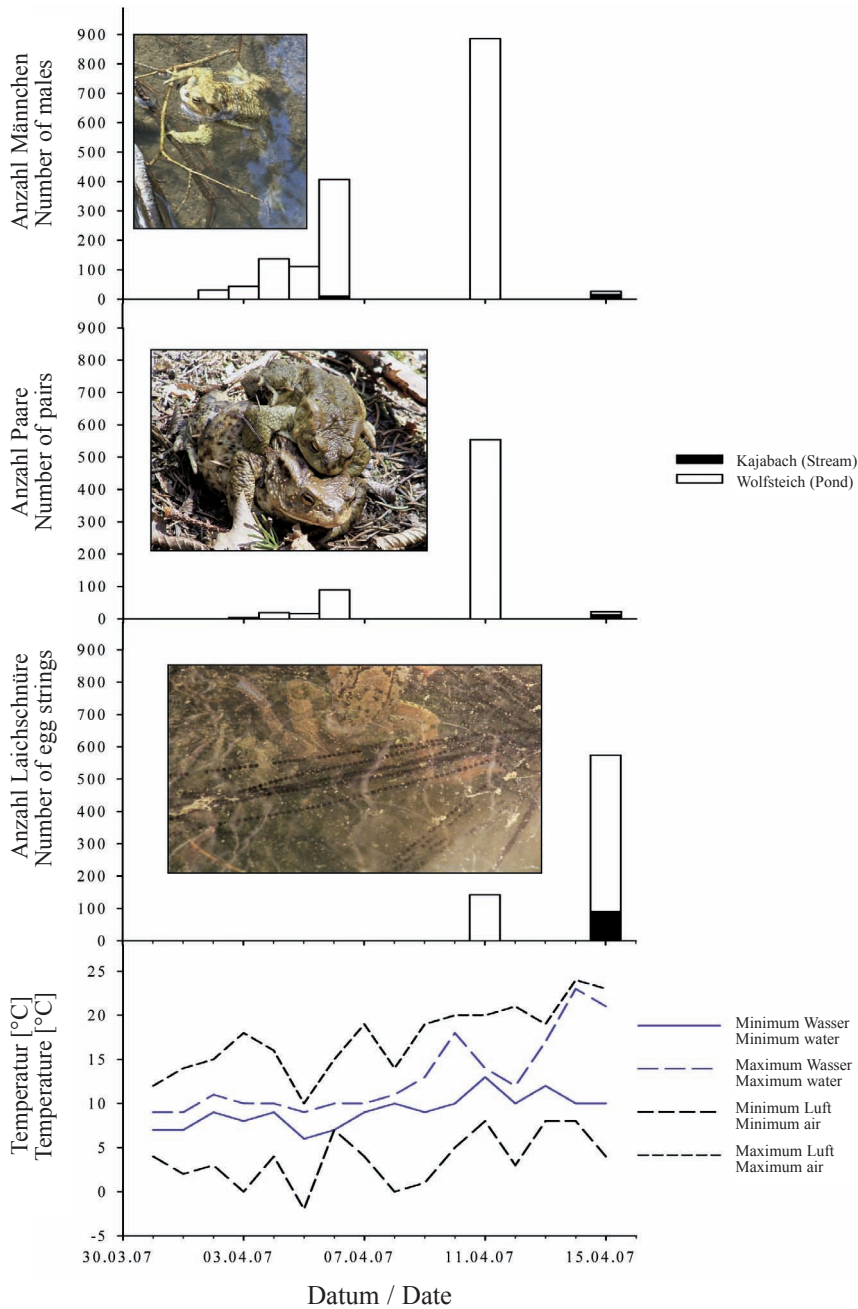


Abb. 1: Zuwanderung und Ablaichen von *Bufo bufo* im Wolfsteich und im Kajabach (Niederösterreich) nebst Angabe des Temperaturverlaufes. In der Untersuchungsperiode fiel kein Niederschlag.

Fig. 1: Migration and spawning of *Bufo bufo* in the Wolfsteich pond and Kajabach stream (Lower Austria) including temperature data. There was no precipitation during the investigation period.

Bestimmung der embryonalen Entwicklungsdauer täglich drei Stichproben bestehend aus ca. 10 cm langen Laichschnurstücken entnommen, die in Säckchen aus feinem Netzstoff an der Ablachstelle befestigt wurden. Im Wolfsteich wurde die Entnahme und Markierung der Laichschnurstücke so gewählt, daß die Wassertiefe, Art der Befestigung sowie die Sonneneinstrahlung/Beschattung möglichst unterschiedlich waren, um repräsentative Ergebnisse für den gesamten Teich zu erhalten. Im Kajabach waren weitaus weniger Laichschnüre zu finden, als im Wolfsteich. Hier waren die Auswahlkriterien Frische des Laichs und vorhandene Strömung.

Bei im Kajabach exponiertem Laich wurde vor der Entnahme von Schnurstücken noch zusätzlich die mittlere Fließgeschwindigkeit direkt vor der Laichschnur mit einem Strömungsgeschwindigkeitsmeßgerät (Ott C2, 30 mm Flügeldurchmesser) ermittelt.

Larven

Die Begehungen erfolgten nur noch in wöchentlichen Intervallen, sobald die letzten Embryos der markierten Laichschnüre geschlüpft waren. Hierbei wurde bachaufwärts und im Wolfsteich nach Kaulquappen gesucht und der Aufenthaltsort der Larven sowie deren geschätzte Anzahl vermerkt. Über die gesamte Dauer der Larvalentwick-

lung wurden wöchentlich jeweils 30 Kaulquappen aus dem Kajabach und aus dem Wolfsteich gekeschert und vermessen. Insgesamt wurden über den gesamten Untersuchungszeitraum 390 Larven untersucht, davon 240 aus dem Kajabach und 150 aus dem Wolfsteich. Im Wolfsteich fällt die Stichprobe geringer aus, da im Kajabach 3 Wochen länger Larven auffindbar waren.

Das Entwicklungs-Stadium nach GOSNER (1960) jeder Larve wurde mittels Feldlupe bestimmt, die Kopf-Rumpf- und Gesamtlänge sowie die Rumpfbreite wurden mithilfe von foliertem Millimeterpapier ermittelt und die Masse mit einer Feldwaage (Ohaus Navigator®) auf 1 mg genau bestimmt, wobei die Larve zuvor mit etwas Löschpapier abgetupft wurde, um das Haftwasser möglichst gering zu halten. Bei Larven aus dem Kajabach wurde zusätzlich vor dem Keschern die mittlere Fließgeschwindigkeit am Aufenthaltsort der Larven mittels Ott-Flügel ermittelt. Es wurde dreimal gemessen, wobei darauf geachtet wurde, möglichst vor dem Larvenschwarm auf derselben Wassertiefe zu messen, in der sich die Kaulquappen aufhielten. Die Ausrichtung des Propellers richtete sich nach der Fließrichtung, nach der sich auch die Larven ausrichteten.

Für statistische Analysen und die Erstellung von Grafiken wurden die Programme SPSS® und SigmaPlot® verwendet.

ERGEBNISSE

Adulte und Laich

Die Hauptzuwanderung der Erdkröten erfolgte in dem relativ kurzen Zeitraum vom 31. März bis zum 15. April 2007. Insgesamt wurden 722 Weibchen und 2349 Männchen gezählt. Es muß darauf hingewiesen werden, daß Mehrfachzählungen hier äußerst wahrscheinlich sind, da die Tiere, vor allem die Männchen, mehrere Tage bis Wochen am Laichgewässer sein können, und die Angaben Summen aus Zählungen von 8 Tagen darstellen.

Die anwandernden Tiere nutzten das Bachbett bzw. das feuchte Ufer des Kajabaches als Zuwanderungsstrecke und wur-

den durchaus öfters auch gegen die Strömung anwandernd beobachtet. Frisch abgelegte Laichschnüre wurden im Wolfsteich am 7. und 17. April registriert, im Kajabach am 12. und 17. April (Abb. 1).

Die Lufttemperaturen fielen während der Zuwanderung nur einmal unter 0 °C (-2 °C), wohingegen die Maximalwerte täglich über 5 °C hinausgingen. Während des Ablachens und auch während der Larvalentwicklung konnten keine Temperaturen unter dem Gefrierpunkt mehr gemessen werden. Von März bis Juni war wie erwartet ein kontinuierlicher Temperaturanstieg zu verzeichnen, wobei vor allem die durchschnittlichen Minimum-Temperaturen stark anstiegen

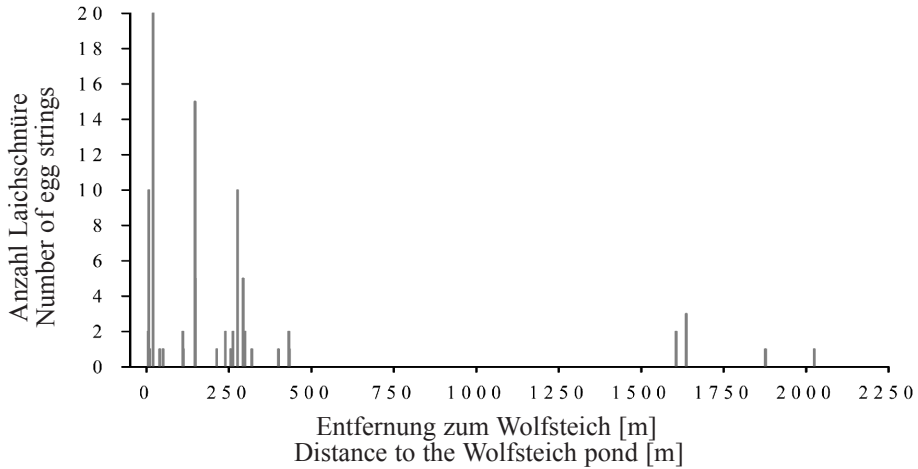


Abb. 2: Anzahl der Laichschnüre von *Bufo bufo* im Kajabach in Abhängigkeit von der Entfernung zum Wolfsteich. Die Distanzangaben beziehen sich auf den Bachverlauf und entsprechen nicht der Luftlinie.

Fig. 2: Number of *Bufo bufo* spawn strings in the Kajabach stream and their distance to the Wolfsteich pond. Distances refer to the course of the brook and are not linear distances.

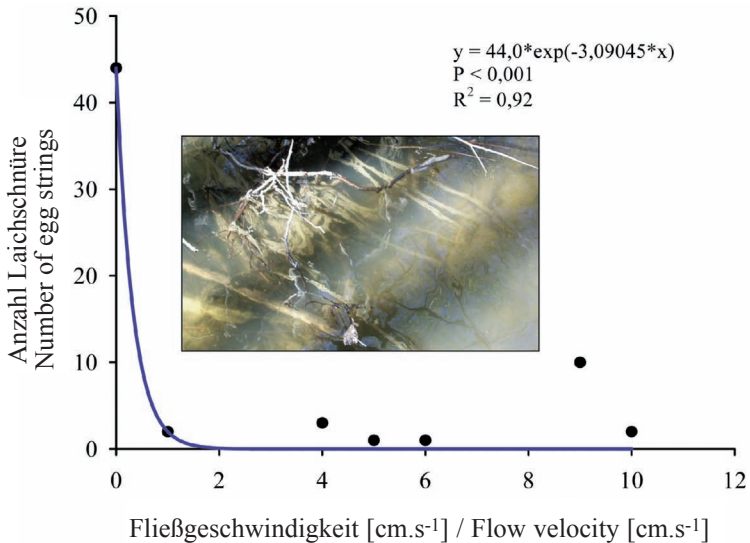


Abb. 3: Anzahl der Laichschnüre von *Bufo bufo* im Kajabach in Abhängigkeit von der Fließgeschwindigkeit. Der kleine Anstieg der Laichschnur-Anzahl bei $v = 9 \text{ cm.s}^{-1}$ ist auf eine Laichschnuransammlung in Totholz vor einem Staubereich zurückzuführen.

Fig. 3: Number of *Bufo bufo* spawn strings in the Kajabach stream in dependency on the flow velocity. The small increase in the number of spawn at $v = 9 \text{ cm.s}^{-1}$ can be explained by an accumulation of spawn in deadwood in front of a slack flow area.

Tab. 1: Korrelationen nach Spearman (R - Korrelationskoeffizient, P - Signifikanz) zwischen der Entwicklungsdauer der *Bufo bufo* Embryos im Kajabach bis zum Schlupf (in Tagen) und der Fließgeschwindigkeit ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$) sowie der Spannweite der Wassertemperatur ($^{\circ}\text{C}$) einerseits und zwischen der Ablageentfernung der Gelege zum Wolfsteich (in m) und der Fließgeschwindigkeit andererseits ($n = 28$).

Table 1: Coefficients (R) and statistical significances (P) of Spearman correlations on the duration of the prehatch development of *Bufo bufo* embryos of the Kajabach stream (days), flow velocity ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$) and water temperature range ($^{\circ}\text{C}$) as well as on the spawning distance to the Wolfsteich pond (m) and the flow velocity ($n = 28$).

$n = 28$		Fließgeschwindigkeit Flow velocity	Temperaturspannweite Temperature range
Entwicklungsdauer	R	0,383	-0,460
Duration of development	P	< 0,05*	< 0,05*
Entfernung zum Wolfsteich	R	0,628	—
Distance to Wolfsteich pond	P	< 0,001***	—

(von $0,3^{\circ}\text{C}$ im März bis $11,8^{\circ}\text{C}$ im Juni). Die Maximaltemperatur betrug im Untersuchungszeitraum $24,8^{\circ}\text{C}$.

Bei den minimalen Wassertemperaturen war ein leichter Anstieg in der Zeit zwischen Zuwanderung (6°C) und Ablai-chen ($9,5^{\circ}\text{C}$) meßbar.

Die räumliche Verteilung der Laichschnüre war über das gesamte Untersuchungsgebiet sehr ungleichmäßig: Insgesamt wurden im Wolfsteich 481 Laichschnüre nachgewiesen, im Kajabach hingegen lediglich 93; von letzteren war etwa ein Drittel (35) innerhalb der ersten 100 m unterhalb des Wolfsteiches abgelegt worden. Rechnet man die Absolutzahlen in Laichschnurdichten um (Zahl der Laichschnüre / 10 Meter Uferlänge) so wurde im Wolfsteich eine Laichschnurdichte von annähernd 30 (29,9), im Kajabach in den ersten 100 m unterhalb des Wolfsteiches hingegen eine Dichte von 3,5 (berechnet auf die Bachlänge) beobachtet. Auf die gesamte Länge des untersuchten Bachabschnittes kam lediglich eine Laichschnur-Dichte von 0,6. Im Wolfsteich kamen demnach etwa zehnmal mehr Laichschnüre auf dieselbe Uferlänge wie in den ersten 100 m des Kajabachs, bzw. etwa fünfzigmal mehr Laichschnüre auf dieselbe Uferlänge wie im gesamten untersuchten Kajabach-Abschnitt.

Die Anzahl der Laichschnüre im Kajabach nahm rasch mit zunehmender Entfernung vom Wolfsteich ab (Abb. 2). In einer Entfernung von etwa 300 m zum Wolfsteich wurden nur noch um die 20 Laichschnüre gezählt; offenbar sank die Attraktivität des Kajabaches als Laichgewässer mit wach-

sender Entfernung zum Teich rapide ab.

Die Fließgeschwindigkeitsmessungen in der Nähe der Laichschnüre ergaben, daß die Erdkröten im Kajabach bis zu einer Fließgeschwindigkeit von $10\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ablaichten. Dieser strömungsexponierte Laich war allerdings rasch verschlammt und zerriß meist einige Tage nach dem Ablai-chen, wenn die Zähigkeit der Gallerte der Laichschnur abnahm.

Werden die Laichschnüre nach der in ihrer unmittelbaren Nähe herrschenden Fließgeschwindigkeit des Wassers in Klassen angeordnet, so zeigt sich hoch signifikant eine exponentielle Abnahme in der Anzahl der Laichschnüre bei zunehmender Fließgeschwindigkeit ($P < 0,001$, $R^2 = 0,92$) (Abb. 3).

Schlupf der Embryos

Als Dauer der Embryonalentwicklung wurde der Zeitraum zwischen dem Markieren der frisch abgelaichten Gelege (Stadium 1 bis 2 nach GOSNER 1960) und dem Schlüpfen der Embryos aus der Gallerte (Stadium 17-18) herangezogen. Sie umfaßte eine Spannweite von 6 bis 9 Tagen (Wolfsteich: Mittel = 6,95 Tage, $n = 18$; Kajabach: Mittel = 8,4 Tage, $n = 10$).

Diese Entwicklungsdauer war im Wolfsteich hoch signifikant kürzer als im Kajabach (T-Test: $P < 0,001$, $df = 26$). Die Entwicklungsdauer bis zum Schlupf war negativ mit der Temperatur korreliert. Des Weiteren ergaben sich signifikante positive Korrelationen zwischen der Entwicklungsdauer und der Fließgeschwindigkeit sowie

Tab. 2: Koeffizienten (R) und Signifikanzen (P) der Spearman-Korrelationen zwischen der Entwicklungsdauer der *Bufo bufo* Embryos im Kajabach bis zum Schlupf in Tagen, dem Schlupfstadium (nach GOSNER 1960), dem Ablaidatum, dem Schlupfdatum und der Entfernung zum Wolfsteich (m) ($n = 28$).

Table 2: Coefficients (R) and statistical significances (P) of Spearman correlations on the duration of the prehatch development of *Bufo bufo* embryos of the Kajabach stream (days), hatching stage (GOSNER 1960), spawning date, hatching date as well as the distance to the Wolfsteich pond (m).

	Entwicklungsdauer Duration of development		Schlupfstadium Hatching stage		Ablaidatum Spawning date		Schlupfdatum Hatching date		Entfernung zum Wolfsteich Distance to Wolfsteich pond	
Entwicklungsdauer Duration of development	R	—	0,202	—	0,337	0,566	0,602	—	0,602	—
	P	—	0,304	—	0,079	< 0,01**	< 0,001***	—	< 0,001***	—
Schlupfstadium Hatching stage	R	0,202	—	—	-0,027	0,059	0,073	—	0,073	—
	P	0,304	—	—	0,892	0,767	0,713	—	0,713	—
Ablaidatum Spawning date	R	0,337	-0,027	—	—	0,958	0,820	—	0,820	—
	P	0,079	0,892	—	—	< 0,001***	< 0,001***	—	< 0,001***	—
Schlupfdatum Hatching date	R	0,566	0,059	0,958	—	—	0,850	—	0,850	—
	P	< 0,01**	0,767	< 0,001***	—	—	< 0,001***	—	< 0,001***	—
Entfernung zum Wolfsteich Distance to Wolfsteich pond	R	0,602	0,073	0,820	0,850	—	—	—	—	—
	P	< 0,001***	0,713	< 0,001***	< 0,001***	< 0,001***	< 0,001***	< 0,001***	< 0,001***	< 0,001***

zwischen der Entfernung der Gelege zum Teich und der Fließgeschwindigkeit. Das Letztere bedeutet, daß die Erdkröten mit zunehmender Entfernung vom Wolfsteich bei höheren Fließgeschwindigkeiten ablaichten. Da hier auch eine positive Korrelation zwischen Ablaidatum und der Entfernung zu finden ist, könnte dies ein Hinweis darauf sein, daß Erdkrötenweibchen, die das Laichgewässer spät erreichten, für das Abbläichen auf ungünstigere Bachabschnitte abgedrängt werden. Alle Ergebnisse beziehen sich auf im Wolfsteich und Kajabach gefundenen Laich ($n = 28$). (Tab. 1).

Ebenfalls wurden die Beziehungen zwischen der Entwicklungsdauer und dem Schlupfstadium der Kajabach bzw. dem Ablaidatum und dem Schlupfdatum sowie der Ablageentfernung zum Wolfsteich getestet (Tab. 2). Es ergaben sich positive Korrelationen zwischen der Entwicklungsdauer und dem Schlupfdatum sowie zwischen dem Ablaidatum und dem Schlupfdatum; des Weiteren ergaben sich hoch signifikante, positive Korrelationen der Ablageentfernung zum Wolfsteich mit der Entwicklungsdauer, dem Ablaidatum und dem Schlupfdatum. Dies bedeutet also mit zunehmender Entwicklungsdauer ein späteres Schlupfdatum, bzw. mit späterem Ablaidatum ein späteres Schlupfdatum; weiters mit zunehmender Ablageentfernung zum Wolfsteich eine längere Entwicklungsdauer, späteres Ablaidatum und späteres Schlüpfen.

Larven

Die biometrischen Daten der vermessenen Larven aus dem Wolfsteich ($n = 150$) wurden mit jenen der Larven aus dem Kajabach ($n = 240$) verglichen. Abb. 4 zeigt die mittleren Gesamtlängen gegen die Gosner-Stadien der Larven aufgetragen. Dabei ist bei fortschreitender Entwicklung bis Gosner-Stadium 38 ein kontinuierlicher Anstieg in der Gesamtlänge der Larven zu sehen, die bei Tieren des Kajabaches bis Stadium 44 wieder in ähnlichem Maße abfällt, was auf die fortschreitende Metamorphose der Larven zurückzuführen ist. Mangels Funden von Larven über Stadium 40 vom Wolfsteich endet hier die Regressionskurve bei maximalen Körperlängen.

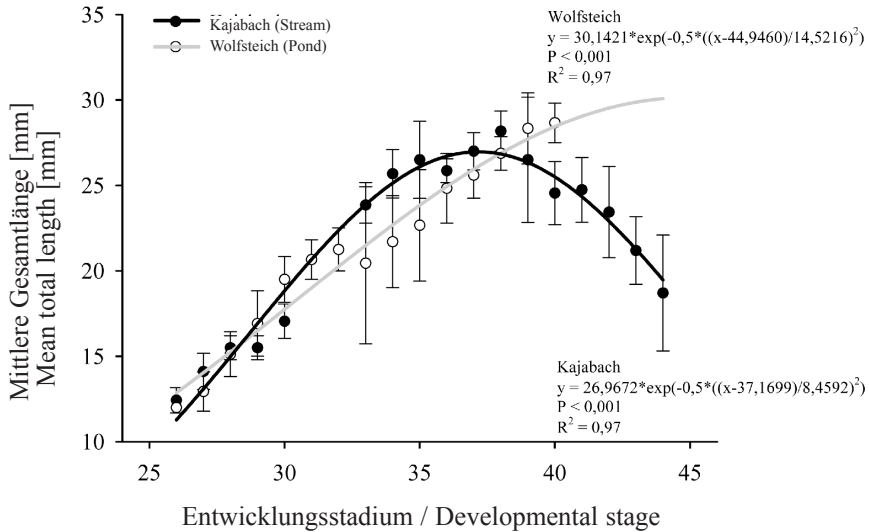


Abb. 4: Arithmetische Mittel \pm Standardabweichungen der Gesamtlängen bei Larven von *Bufo bufo* aus Kajabach ($n = 240$) und Wolfsteich ($n = 150$) in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium (GOSNER 1960). Die Regressionen waren hoch signifikant.

Fig. 4: Arithmetic means \pm S.D. of the total lengths of *Bufo bufo* larvae in the Kajabach stream ($n = 240$) and the Wolfsteich pond ($n = 150$) in dependency on the developmental stage (sens. GOSNER 1960). The regressions were highly significant.

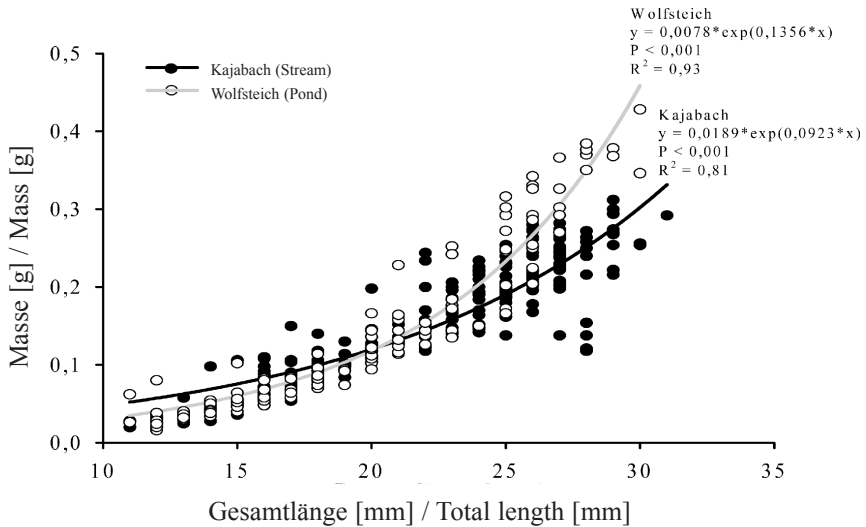


Abb. 5: Verhältnis zwischen Gesamtlänge (mm) und Masse (g) bei Larven von *Bufo bufo* aus Kajabach ($n = 240$) und Wolfsteich ($n = 150$).

Fig. 5: Ratio of total length (mm) and body mass (g) in *Bufo bufo* larvae from the Kajabach stream ($n = 240$) and the Wolfsteich pond ($n = 150$).

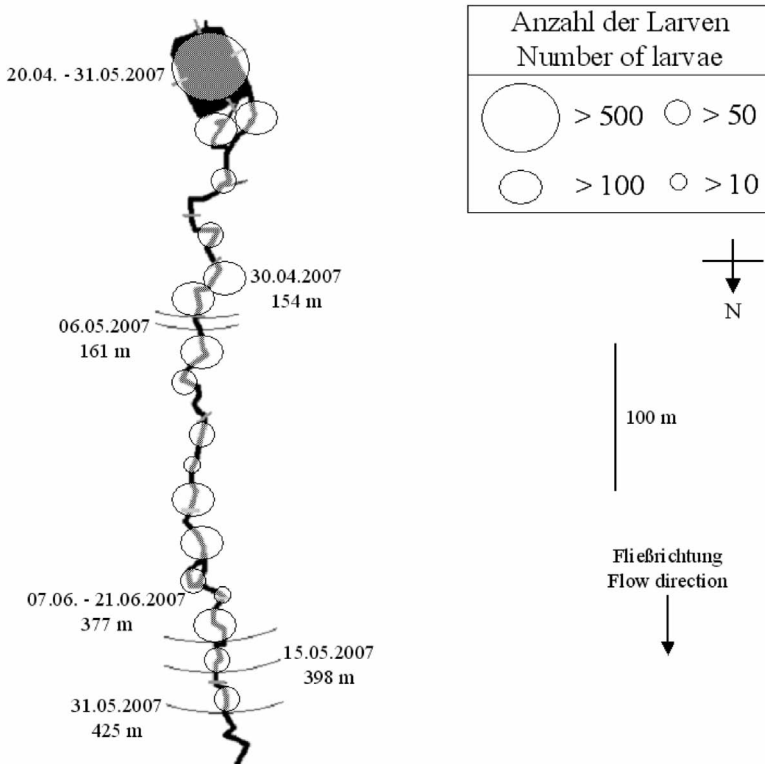


Abb. 6: Sichtungsgrenzen (Datum, Entfernung vom Teich in m) der Larven von *Bufo bufo* im Kajabach bachabwärts vom Wolfsteich. Die Größe der Kreise gibt die geschätzte Larvenanzahl an.

Fig. 6: Sighting range borders (date, distance from pond in m) of the *Bufo bufo* larvae in the Kajabach stream downstream of the Wolfsteich pond. The size of the circles stands for the estimated number of larvae.

Die Masse einzelner Larven wurde gegen ihre Gesamtlänge aufgetragen und sowohl für Larven des Wolfsteiches als auch des Kajabaches einer Regressionsanalyse unterworfen (Abb. 5). Die Regression war für Larven des Wolfsteiches hoch signifikant ($P < 0,001$, $R^2 = 0,93$), ebenso wie für jene des Kajabaches ($P < 0,001$, $R^2 = 0,81$), bei denen der Zusammenhang zwischen Masse und Gesamtlänge allerdings weniger ausgeprägt war. Die Kurven weisen auf einen etwas gedrungeneren Körperbau der Larven im Wolfsteich bzw. einen schlankeren Körperbau der Larven des Kajabaches hin.

Dispersion

Um die Dispersion der Larven zu dokumentieren, wurden Larvenzahlen für Orte

gehäuften Auftretens geschätzt und bei jeder Begehung der Aufenthaltsort jener Larven festgehalten, die am weitesten vom Wolfsteich entfernt aufgefunden wurden (Abb. 6). Erstmals traten am 30. April Larven 154 m (im Bachverlauf) vom Wolfsteich entfernt auf. Innerhalb einer Woche wurden die Larven nur eine kurze Strecke von knapp sieben Metern weiter bachabwärts festgestellt, doch eine weitere Woche später, am 15. Mai, war die Sichtungsgrenze bachabwärts bereits 398 m vom Wolfsteich entfernt.

Die größte Entfernung zum Wolfsteich hatten die Larven am 31. Mai erreicht, nämlich 425 m. Ab diesem Zeitpunkt verschob sich die Sichtungsgrenze wieder bachaufwärts und die letzte Larve, die am 21. Juni im Kajabach gefunden werden konnte, befand sich in 377 m Entfernung

Tab. 3: Zusammenfassung der Ergebnisse der vergleichenden Untersuchungen zur Embryonal- und Larvalentwicklung von *Bufo bufo* im Wolfsteich und im Kajabach. Die Angaben zum Entwicklungsstadium treffen auf die Monate April wie auch Mai zu; die Angaben zu Gesamtlänge, Kopf-Rumpf-Länge, Rumpfbreite und Masse beziehen sich jeweils auf Larven des Entwicklungsstadiums 38 nach GOSNER (1960) (> = größer als im Vergleichsgewässer, < = kleiner als im Vergleichsgewässer, * = $P < 0,05$, ** = $P < 0,01$, *** = $P < 0,001$, n.s. = $P > 0,05$).

Table 3: Summary of the results of comparative studies on the embryonic and larval development of *Bufo bufo* in the Wolfsteich pond and the Kajabach stream. The data on developmental stages refer to the months April and May; the data on total length, head-body-length, body width and body mass refer to larvae at developmental stage 38 (GOSNER 1960), respectively (> = greater than in the compared waterbody, < = less than in the compared waterbody, * = $P < 0,05$, ** = $P < 0,01$, *** = $P < 0,001$, n.s. = $P > 0,05$).

Parameter	Test	Wolfsteich	Kajabach
Anzahl Laichschnüre / Number of spawn strings	T-Test	> ***	< ***
Entwicklungsdauer / Duration of development (d)	T-Test	< ***	> ***
Entwicklungsstadium / Developmental stage	ANOVA	< ***	> ***
Gesamtlänge / Total length (mm)	ANOVA	< *	> *
Kopf-Rumpf-Länge / Head-body-length (mm)	ANOVA	< *	> *
Rumpfbreite / Body width (mm)	ANOVA	< n.s.	> n.s.
Masse / Body mass (g)	ANOVA	< ***	> ***
Gesamtlänge vs. Masse / Total length vs. Body mass	Regression	< ***	> ***
Körperform / Body proportions	Regression	gedrungen / plump	schlank / slender
Kopf-Rumpflänge vs. Rumpfbreite / Snout-vent-length vs. Body width	Regression	gedrungen / plump	schlank / slender
Körperform / Body proportions	Regression	gedrungen / plump	schlank / slender

zum Wolfsteich. Bereits am 7. Juni waren hingegen im Wolfsteich keine Larven mehr auffindbar. Im Kajabach hielten sich demnach Erdkrötenlarven etwa drei Wochen länger auf als im Wolfsteich.

Unmittelbar nach dem Schlüpfen der Embryonen der spätesten Kajabach-Gelege waren hier keine Larven zu finden, wohl aber massenhaft im Wolfsteich. Dies legt die Vermutung nahe, daß die im Kajabach geschlüpften Larven in frühen, kaum beweglichen Stadien bachabwärts verdriftet wurden.

Larven und Strömung

Die Dichte der Larven nahm mit zunehmender Fließgeschwindigkeit rasch ab (Abb. 7). Bis zu einer Fließgeschwindigkeit von 7 cm.s^{-1} konnten Larven gefunden werden, die allerdings bei dieser relativ starken Strömung verdriftet wurden.

Die vermessenen Larven des Kajabaches ($n = 240$) wurden zur Analyse der Strömungspräferenz in Abhängigkeit vom Metamorphosefortschritt nach ihrem Entwicklungsstadium gruppiert. Hierbei wurde zwischen Prämetamorphose (bis Gosner-Stadium 35), Prometamorphose (Stadium 36 bis 41) und Metamorphoseklimax (ab Stadium 42) unterschieden: Abb. 7 zeigt, daß sich etwa 85 % der Larven (330 von 390 Tieren) unabhängig von ihrem Entwicklungsstadium in strömungsberuhigten Bereichen des Kajabaches aufhielten ($v = 0 \text{ cm.s}^{-1}$, bzw. bei einer organismschen Reynoldszahl von < 500 , also unter nahezu laminaren Strömungsverhältnissen).

DISKUSSION

Laich

Insgesamt wurden im Wolfsteich 481 Laichschnüre nachgewiesen, im Kajabach hingegen lediglich 93; von letzteren war ein großer Teil nahe dem Wolfsteich abgelegt worden (Tab. 3). Der deutliche Unterschied zwischen Wolfsteich und Kajabach in der Dichte der Laichschnüre macht deutlich, daß Erdkröten stehende Gewässer gegenüber Fließgewässern als optimalen Laichplatz bevorzugen und nur einzelne Paare unter

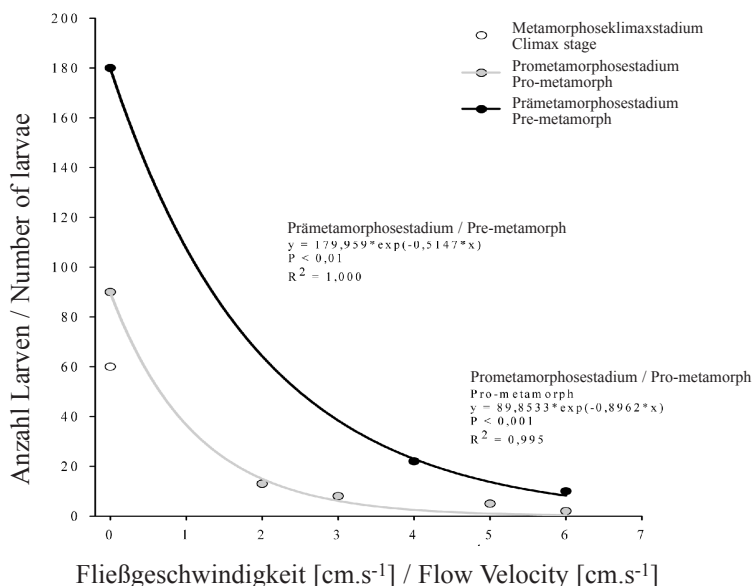


Abb. 7: Anzahl der bei unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten im Kajabach festgestellten Larven von *Bufo bufo* in den Entwicklungsabschnitten Prä- und Prometamorphose sowie Metamorphoseklimax. Die Regressionen waren hoch signifikant.

Fig. 7: Number of *Bufo bufo* larvae observed at different flow velocities in the Kajabach stream indicated separately for pre- and pro-metamorphosis as well as climax stages. The regressions were highly significant.

den suboptimalen Bedingungen von Fließgewässern ablaichen (BUCK 1985).

Auffällig ist, daß jene Weibchen, die sehr spät am Laichplatz ankamen auch jene waren, die am weitesten vom Wolfsteich entfernt und unter höheren Fließgeschwindigkeiten ablaichten. Da mit zunehmender Entfernung zum Wolfsteich immer später und bei höheren Fließgeschwindigkeiten abgelaicht wurde, wäre es möglich, daß es sich hierbei um Nachzüglerweibchen handelte, die aus physiologischen Gründen ablaichen mußten. Es wäre auch möglich, daß einige wenige Erdkrötenweibchen zwecks Konkurrenzvermeidung größere Distanzen zum Hauptlaichgewässer bevorzugen, bzw. daß sie Orte mit mäßigen Fließgeschwindigkeiten zum Ablaichen wählen, da der Laich dadurch besser mit Sauerstoff versorgt werden kann. Allerdings reißt die Gallerte der Laichschnüre unter Strömungseinfluß recht bald nach dem Ablaichen und die noch wenig entwickelten Embryonen werden verdriftet. Auch WERBA (2006) stellte hohe

Driftverluste (bis zu 22 %) des Grasfroschlaiches in Fließgewässern fest, wobei unbefestigte oder an Steinen befestigte Laichballen stets verdriftet wurden.

Die Anzahl der Laichschnüre im Kajabach nahm rasch mit zunehmender Entfernung vom Wolfsteich ab (Abb. 2). WERBA (2006) stellte bei Untersuchungen über die Abweichpräferenzen des Grasfrosches (*Rana temporaria* LINNAEUS, 1758) im Wienerwald hingegen fest, daß die Anzahl der Laichballen in einem Fließgewässer mit zunehmender Entfernung vom stehenden Gewässer zunahm. BAKER & GILLET (1996) andererseits äußerten in einer Untersuchung über den Grasfrosch die Vermutung, daß die Strömungsverhältnisse in Fließgewässern die äußere Befruchtung der Anuren beeinträchtigen könne. Die Anzahl an unbefruchteten Eiern dürfte in Fließgewässern generell höher als in stehenden Gewässern sein.

Beim Ablaichen benötigen Erdkröten ausreichend Strukturen zum Befestigen der Laichschnüre (BLAB 1978). Diese werden

von den Weibchen regelrecht zwischen verschiedenen Strukturen wie etwa Totholz kreuz und quer aufgespannt und sind meist auch mit anderen Laichschnüren "verflochten", was mitunter dichte Laichschnur-Pakete ergeben kann.

Im Wolfsteich sowie im Kajabach war das bevorzugte Befestigungssubstrat der Erdkröten Totholz, das sich scheinbar durch seine hohe Festigkeit gut zum Fixieren von Laichschnüren eignet. Im Kajabach bildete das viele Totholz Staubereiche mit geringer oder gar keiner Strömung, was für Erdkröten ein günstigerer Laichplatz ist als die strömungsexponierten Stellen. Häufig wurde im Kajabach auch Wurzelwerk zum Befestigen der Laichschnüre gewählt, das aufgrund seiner Stabilität und Ufernähe Schutz vor der Strömung bietet. Auch bei WERBA (2006) war Wurzelwerk die bevorzugte Befestigungsstruktur.

Schlupf

Die Entwicklungsdauer der Embryonen vom Zeitpunkt des Ablai chens bis zum Schlüpfen aus der Gallerte dauerte 6 bis 9 Tage und war an den beiden Standorten statistisch hoch signifikant verschieden (Tab. 3). Die Unterschiede in der Dauer der Embryonalentwicklung waren zweifellos ganz wesentlich durch die unterschiedlichen Temperaturen der beiden Gewässer bedingt: die höheren Temperaturen im Wolfsteich hatten eine signifikant kürzere Entwicklungsdauer zur Folge.

Es zeigte sich auch, daß mit zunehmender Fließgeschwindigkeit die Dauer der Embryonalentwicklung signifikant zunahm. Dies lag vermutlich daran, daß bei Strömung der Abtransport von Wärme aus dem Gelege schneller erfolgte als in stagnierenden Bachabschnitten.

Larven

Am 30. April begann die Vermessung der Larven, die bis dahin zwar im Wolfsteich an ihren Schlupforten zu sehen, im Kajabach zu diesem Zeitpunkt aber nicht nachweisbar waren. Das Fehlen von Larven nachweisen erklärt sich aus dem Abdriften der Schlüpflinge, welche zunächst trotz ihrer Haftorgane drifanfällig sind

(HEUSSER 1960) und deshalb strömungsberuhigte Zonen nicht aufsuchen können.

Als Gründe für den drei Wochen früher erfolgten Abschluß der Metamorphose der Erdkrötenlarven im Wolfsteich gegenüber denen im Kajabach können bessere Nahrungsverfügbarkeit, höhere Wassertemperatur sowie höherer Prädationsdruck durch Fische und räuberische Insekten (CHOVANEK 1992) angegeben werden.

Die Larven von Anurenarten mit fließwasserbewohnenden (stream type) Kaulquappen sind relativ schlanker und länger als die Larven von Arten, deren Kaulquappen stehende Gewässer bevorzugen (pond type). Alle typologisierenden Larvenarbeiten weisen auf diesen hydrodynamisch begründeten Umstand hin (vergl. die Übersichten und Literaturangaben in MCDIARMID & ALTIG 1999). Die Larven im Wolfsteich blieben etwas kleiner als jene im Kajabach, andererseits waren letztere durchwegs schlanker als jene im Wolfsteich (Tab. 3), aus dem einige in den Bach ausgespült worden waren. Einerseits sind nach HOFF & WASSERSUG (2000) kürzere Schwänze bei Anurenlarven viscoelastischer und steifer als lange Schwänze sowie leichter und flexibler, was ein effektiveres Schwimmen und damit ein schnelleres Aufsuchen strömungsberuhigter Zonen erleichtert. Andererseits beobachtete auch WERBA (2006), daß die Totallänge von Grasfroschlarven in einem Fließgewässer größer war als in stehenden Gewässern, was sich mit den Ergebnissen dieser Untersuchung über Erdkrötenlarven deckt.

Dispersion

Im Wolfsteich hielten sich die Larven zunächst an ihrem Schlupfort im Uferbereich auf. Dort blieben sie zumindest bis zum Erreichen von Stadium 30. Ältere Erdkrötenlarven ab Stadium 33 wurden nur in Schwärmen umherziehend angetroffen; sie durchsuchten den Teich nach Nahrung und wurden des Öfteren in den Kajabach ausgespült.

Im Kajabach hingegen hielten sich die Embryos nach dem Schlüpfen nicht an ihrem Schlupfort auf; sie waren vermutlich in diesen frühen, kaum beweglichen Stadien bachabwärts verdriftet worden. Eine Woche

danach wurden wieder frühe Erdkrötenlarven im Kajabach gesichtet, etwa 154 m vom Wolfsteich entfernt. Dabei ist unklar, ob die jungen, unbeweglichen Larven zwischen Strukturen wie Wurzeln, Totholz oder Steine gespült und übersehen, oder ob die neuerlich gesichteten Larven zum Großteil oder zur Gänze aus dem Wolfsteich eingespült worden waren.

In den folgenden Wochen wurden Erdkrötenlarven zunehmend weiter bachabwärts gefunden, was einerseits am Abdriften der Larven liegt, andererseits an einem aktiven Abwärtswandern der Larven im Zuge der Nahrungssuche liegen könnte. Nach RICHARDSON & MACKAY (1991) reduzieren Filtrierer im Bach das aus dem Stillgewässer eingespülte Plankton innerhalb weniger hundert Meter vom Stillgewässer bis zu einem Minimum, und auch die Qualität der eingespülten Nahrung nimmt bachabwärts rasch ab.

Larven und Strömung

Es zeigte sich, daß sich die Larven in der Prämetamorphose geringerer Strömung

aussetzten (organismische Reynoldszahl < 500) als in der Prometamorphose, wo Larven sogar in organismischen Reynoldszahlen über 2000 angetroffen wurden (Tab. 19 in SCHECKENHOFER 2009). Auch bei BAUMGARTNER et al. (1999) hielten sich jüngere Stadien der Feuersalamanderlarven bevorzugt in Mikrohabitaten geringer Strömung bzw. geringen hydraulischen Stresses auf, während sich ältere Larven häufiger in strömungsexponierten Bereichen aufhielten. Allerdings ist anzumerken, daß in Metamorphoseklimax befindliche Erdkrötenlarven nur in völlig strömungsberuhigten Bereichen gefunden wurden. Eine mögliche Erklärung hierfür wäre, daß diese Larven, da sie sich nicht mehr auf Nahrungssuche begeben mußten, weniger aktiv waren und daher nicht mehr (oder nicht mehr so häufig) unbeabsichtigt in die Strömung eintraten. Strömungsvermeidung bei Klimax-Larven wäre im Zusammenhang mit der Schwanzreduktion und dem Verlust der Larven-Schwimmform, also durch die Verschlechterung der hydrodynamischen Eigenschaften, gut begründet.

DANKSAGUNG

Wir danken der Nationalpark Thayatal GmbH, insbesondere Frau Mag. Claudia WURTH-WAITZBAUER (Hardegg) für die Förderung der Arbeit und Herrn

Matthias WALDSTEIN (Niederfladnitz) für die Erlaubnis, seinen Teich zu besammeln.

LITERATUR

- BAKER, J. & GILLET, L. G. (1996): Frogs breeding in streams.- British Herpetological Society Bulletin, London; 57: 24-25.
- BAUMGARTNER, N. & WARINGER, A. & WARINGER, J. (1999): Hydraulic microdistribution patterns of larval fire salamanders (*Salamandra salamandra salamandra*) in the Weidlingbach near Vienna, Austria.- Freshwater Biology, Oxford; 41: 31-41.
- BEINLICH, B. & POLIVKA, R. & GROSS, P. (1992): Bestandentwicklung bei Grasfrosch (*Rana temporaria*) und Erdkröte (*Bufo bufo*) (Amphibia, Anura) - Ergebnisse einer nach 10 Jahren wiederholten Amphibienkartierung.- Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz, Jena; 1: 67-69.
- BESHKOV, V. & DELTCHEVA, M. & DOBREV, D. (1986): Breeding movements and strict fidelity to the place of egg-laying of the Common Toads (*Bufo bufo* (L.)) in stream water reservoirs.- Ecology, Taschkent; 19: 62-70.
- BLAB, J. (1978): Untersuchungen zur Ökologie, Raumzeit-Einbindung und Funktion von Amphibienpopulationen. Ein Beitrag zum Artenschutzprogramm.- Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz, Bonn; 18: 1-146.
- BUCK, T. (1985): Zur Biologie der Erdkröte *Bufo bufo* unter besonderer Berücksichtigung des Fortpflanzungsverhaltens.- Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, Hannover; 5 (1): 1-26.
- CABELA, A. & GRILLITSCH, H. & TIEDEMANN, F. (1997): Lurche und Kriechtiere (Amphibia, Reptilia). I. Fassung 1995; 88 pp. In: Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Abteilung Naturschutz und Österreichische Gesellschaft für Herpetologie (ÖGH) (Hrsg.): Rote Listen ausgewählter Tiergruppen Niederösterreichs; Wien.
- CHOVANEC, A. (1992): The influence of tadpole swimming behaviour on predation by dragonfly nymphs.- Amphibia-Reptilia, Leiden; 13: 341-349.
- EIBL-EIBESFELD, I. (1953): Bestimmung der Kaulquappen nach ihrem Verhalten.- Die Aquarien- und Terrarienzeitschrift, Stuttgart; 6: 16-18.

- GOSNER, K. L. (1960): A simplified table for staging anuran embryos and larvae with notes on identification.- *Herpetologica*, Lawrence; 16: 183-190.
- GRIFFITHS, R. A. & FOSTER, J. P. (1998): The effect of social interactions on tadpole activity and growth in the British anuran amphibians (*Bufo bufo*, *B. calamita*, *Rana temporaria*).- *Journal of Zoology*, London; 245: 431-437.
- HEUSSER, H. (1960): Über die Beziehungen der Erdkröte zu ihrem Laichplatz II.- *Behaviour*, Leiden; 16: 93-109.
- HEUSSER, H. (1969): Die Lebensweise der Erdkröte *Bufo bufo* (L.). Das Orientierungsproblem.- *Revue Suisse de Zoologie*; Genève; 76: 443-518.
- HOFF, K. V. S. & WASSERSUG, R. J. (2000): Tadpole locomotion: Axial movement and tailfunctions in a largely vertebraeless vertebrate.- *American Zoologist*, Lawrence; 40 (1): 62-76.
- KUHN, J. (2006): Populationsökologie, Lebensgeschichte und Fortpflanzungsbiologie der Erdkröten (*Bufo bufo*) in der Wildflusslandschaft der oberen Isar.- *Zeitschrift für Feldherpetologie*, Bielefeld; 13: 165- 210.
- MCDIARMID, R. W. & ALTIG, R. (Hrsg.) (1999): *Tadpoles: the biology of anuran larvae*. Chicago, London (University of Chicago Press), xiv, 444 pp.
- RICHARDSON, J. S. & MACKAY, R. J. (1991): Lake outlets and the distribution of filter feeders: an assessment of hypotheses.- *Oikos*, Copenhagen; 62: 370- 380.
- SCHECKENHOFER, B. (2009): Die Erdkröte im Lebensraum Fließgewässer. Reproduktionsstrategien von *Bufo bufo* L. in stehenden und fließenden Gewässern im Einzugsgebiet des Kajabachs. Saarbrücken (VDM Verlag); 137 pp.
- UTHLEB, H. (1998): Die Froschlurche (Anura) eines ausgewählten Untersuchungsgebietes an der unteren Unstrut im Kyffhäuserkreis/Thüringen.- *Thüringer Faunistische Abhandlungen*, Erfurt; 5: 5-15.
- WARINGER-LÖSCHENKOHL, A. (2007): Amphibienkartierung im Nationalpark Thayatal.- Gutachten im Auftrag der Nationalpark Thayatal GmbH; 90 pp.
- WARINGER-LÖSCHENKOHL, A. & BAUMGARTNER, C. & PINTAR, M. (2001): Laichplatzverteilung von Amphibien in niederösterreichischen Donauauen in Abhängigkeit von der Gewässerdynamik.- *Zeitschrift für Feldherpetologie*, Bielefeld; 8: 179-188.
- WARINGER-LÖSCHENKOHL, A., RUZEK, S. & WERBA, F. (2010, im Druck): Amphibien im Nationalpark Thayatal.- *Wissenschaftliche Mitteilungen aus dem Niederösterreichischen Landesmuseum*, St Pölten.
- WERBA, F. (2006): Reproduktionsstrategien von *Rana temporaria* (LINNAEUS, 1758) in stehenden und fließenden Gewässern des Wienerwaldes.- *Diplomarbeit an der Universität Wien*; 113 pp.
- WIESBAUER, H. (1991): Fisch-, Benthos- und Amphibienfauna an der Oberen Drau.- *Carinthia II*, Klagenfurt; 181: 529-546.
- WÜBBENHORST, D. & LINDEINER, A. v. (1998): Naturschutzorientierte Untersuchungen zur Froschlurchfauna der mittleren Theißregion in Nordost-Ungarn unter besonderer Berücksichtigung der Teichwirtschaft. - *Zeitschrift für Feldherpetologie*, Bielefeld; 5: 167-180.

EINGANGSDATUM: 26. August 2010

Verantwortlicher Schriftleiter: Heinz Grillitsch

AUTOREN: Barbara SCHECKENHOFER, Rosaliastraße 26, A-2822 Walpersbach, Österreich <b_scheckenhofer@hotmail.com >; Andrea WARINGER-LÖSCHENKOHL <andrea.waringer-loeschenkohl@univie.ac.at >, Johann WARINGER <johann.waringer@univie.ac.at >, Department für Limnologie und Hydrobotanik der Universität Wien, Biozentrum Althanstraße 14, 1090 Wien, Österreich