

## Das Wachstum der Gelbbauchunke (*Bombina variegata*) im Freiland und dessen Bedeutung für die Beurteilung des Erhaltungszustandes von Populationen

### The growth of the yellow-bellied toad (*Bombina variegata*) under natural conditions and its relevance for the evaluation of the conservation status of populations

CHRISTIAN HÖPPNER<sup>1,2</sup>, THOMAS FARTMANN<sup>2,3</sup> & HOLGER BUSCHMANN<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Mozartweg 3, 31737 Rinteln;

<sup>2</sup>Universität Osnabrück, Abteilung für Biodiversität und Landschaftsökologie, Barbarastraße 11,  
49076 Osnabrück;

<sup>3</sup>Institut für Biodiversität und Landschaftsökologie (IBL), Hafenweg 31, 48155 Münster

<sup>4</sup>NABU Niedersachsen, Alleestraße 36, 30167 Hannover

Corresponding author: CHRISTIAN HÖPPNER, e-mail: c.hoepfner.ms@gmail.com

Manuscript received: 24 December 2017

**Abstract.** The yellow-bellied toad (*Bombina variegata* [LINNAEUS 1758]) is extremely rare and one of the most endangered amphibians in Lower Saxony. Based on population declines, the Nature and Biodiversity Conservation Union (NABU) started a protection program for this species in the administrative district of Schaumburg (Lower Saxony) in 1999. During the conservation measures of the project population, data were obtained by using the capture-recapture method over a time period of 11 years (2000 to 2010). The individual snout-vent-length of yellow-bellied toads was also recorded. This study focuses on growth data in a large sample size obtained under natural conditions. Thereby, we tested if growth differs in several size classes. Besides, we examined if there are gender-specific differences in growth. The resulting growth rate may indicate suitability of habitats, e.g. for the availability of prey. Here, at the northern border of the distribution range of this species, growth of individuals may be reduced for climatic reasons. As a result, the growth of individuals is negatively correlated with the size of specimens. This general pattern is overlain by seasonal (within one and between two reproduction periods) and individual influences. Hence, growth of yellow-bellied toads is not linear under natural conditions. We distinguished the following growth periods: directly after the metamorphosis and first hibernation, but also after the second hibernation, yellow-bellied toads showed an enormous growth spurt. In contrast, growth is low out of the reproduction period. Further, there are no significant differences between male and female toads in growth rate. After third hibernation (in the fourth year of life) growing of yellow-bellied toads is very slow or stops. Growth of yellow-bellied toads can be used as an indicator for the condition of a population. The average growth rate allows to evaluate the fitness of toads, the reproduction success and the habitat quality. Moreover, growth can be a tool to evaluate habitat management and suitability of a habitat, for instance in reintroduction programs of *Bombina variegata*. The observed growth rate indicates a high habitat quality and a good state of preservation of the studied populations. Hence, it seems that there is no climatic limitation for growth at the northern distribution range.

**Keywords.** Anura, field condition, growth rate, long-term study, population structure, snout-vent length.

**Zusammenfassung.** Die Gelbbauchunke (*Bombina variegata* [LINNAEUS 1758]) ist extrem selten und zählt zu den „vom Aussterben bedrohten“ Amphibienarten in Niedersachsen. Die rezenten Populationen kommen hier in Sekundärlebensräumen vor und sind meist von einem geeigneten Habitatmanagement abhängig. Im Landkreis Schaumburg (Süd-niedersachsen) konnte – entgegen dem nieder-sachsen- und deutschlandweiten Negativtrend – durch Artenschutzmaßnahmen des NABU-Artenschutzprojekts „Gelbbauchunke“ seit dem Jahr 1999 eine positive Bestandsentwicklung erreicht werden. Während des begleitenden Fang-Wiederfang-Monitorings (2000 bis 2010) wurde auch die individuelle Kopf-Rumpf-Länge aufgenommen. In der vorliegenden Studie wurde das Wachstum der Gelbbauchunke unter natürlichen Bedingungen im Freiland mit dem Datensatz und einem entsprechend großen Stichprobenumfang über einen Zeitraum von elf Jahren analysiert. Dabei wurde untersucht, ob sich das Wachstum in verschiedenen Größenklassen unterscheidet und ob bei adulten Individuen überhaupt noch ein Größenzuwachs stattfindet. Weiter wurde geprüft, ob es geschlechterspezifische Unterschiede in der Größenentwicklung gibt. Die Wachstumsrate kann als Indikator für geeignete Habitate beispielsweise Hinweise auf die Nahrungsverfügbarkeit geben. Hier, am nördlichen Arealrand der Art, kann ein vermindertes Wachstum vielleicht einen Hinweis auf eine Limitierung durch klimatische Faktoren geben. Die vorliegende Studie zeigt deutlich, dass das Wachstum der Gelbbauchunke im Freiland negativ mit der Größe der Tiere korreliert ist. Dieses generelle Muster wird aber überlagert durch jahreszeitliche (innerhalb der Fortpflanzungsperiode und zwischen zwei Fortpflanzungsperioden) und individuelle Einflüsse. Folgende

Wachstumsphasen können basierend auf unseren Daten unterschieden werden: Direkt nach der Metamorphose und der ersten Überwinterung, aber auch nach der zweiten Überwinterung weisen Gelbbauchunken einen enormen Wachstumsschub auf. Außerhalb der Fortpflanzungsperiode ist dagegen ein geringes Wachstum festzustellen. Im Alter von rund eineinhalb Jahren bzw. spätestens nach der zweiten Überwinterung sind Gelbbauchunken adult (geschlechtsreif). Spätestens nach der dritten Überwinterung (im vierten Lebensjahr) wachsen Gelbbauchunken nur noch sehr langsam oder gar nicht mehr. Das Wachstum von Gelbbauchunken kann als Indikator für den Zustand einer Population genutzt werden. Der durchschnittliche Längenzuwachs lässt Rückschlüsse auf die Fitness der Gelbbauchunken, den Reproduktionserfolg und die Qualität des Lebensraums zu. Darüber hinaus kann das Wachstum zur Evaluation des Habitatmanagements und der Eignung eines Lebensraums, beispielsweise bei Wiederansiedlungen von *Bombina variegata* angewendet werden. Die ermittelten Wachstumsraten sprechen für eine ausreichende Habitatqualität im Untersuchungsgebiet. Folglich scheint keine klimatische Limitierung im Wachstum der Gelbbauchunkenpopulationen an ihrem nördlichen Arealrand zu bestehen.

Schlüsselwörter. Anura, Kopf-Rumpf-Länge (KRL), Langzeitstudie, natürliche Bedingungen, Populationsstruktur, Wachstumsrate.

## Einleitung

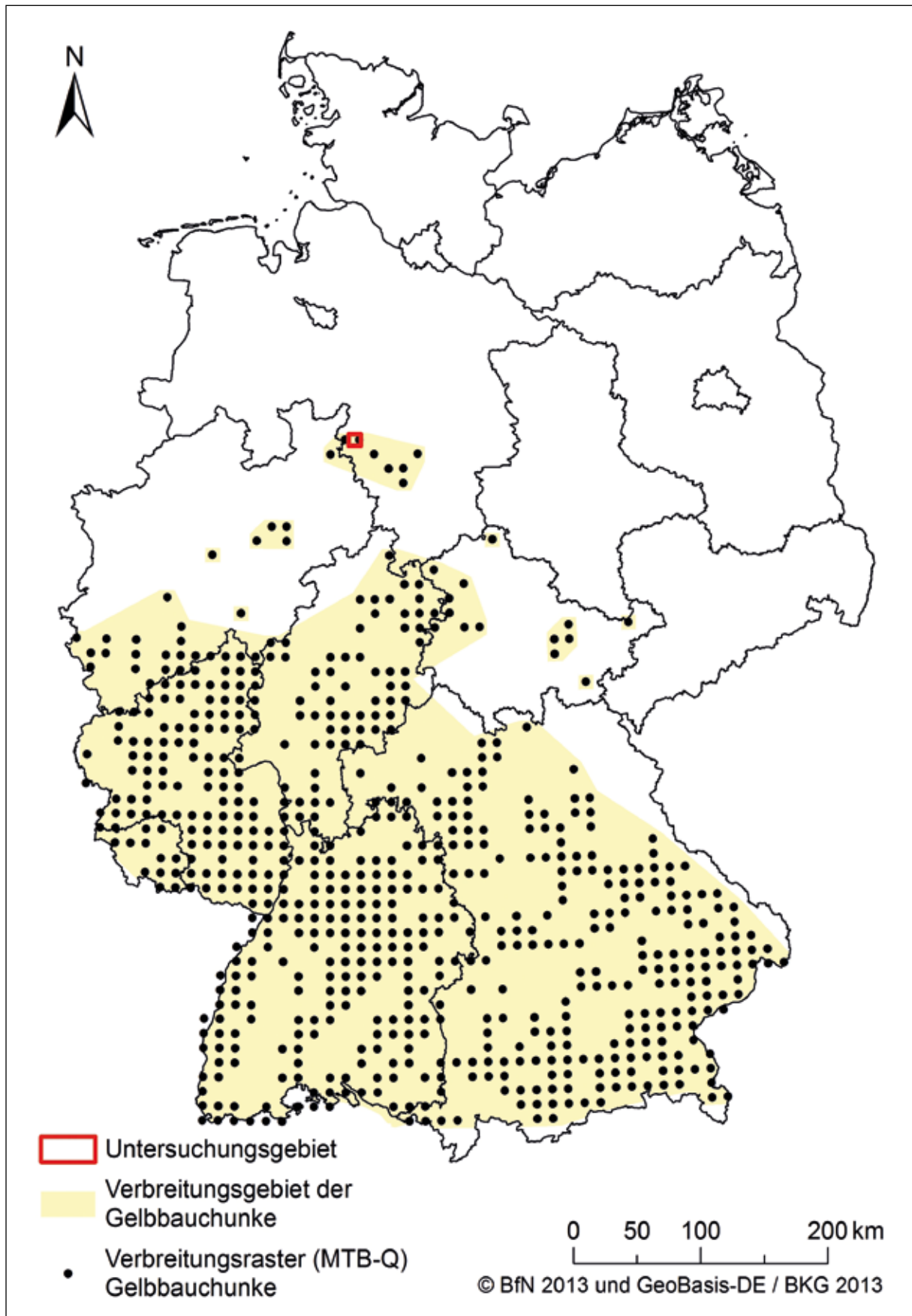
In Niedersachsen ist die Gelbbauchunke (*Bombina variegata* [LINNAEUS 1758]) extrem selten und zählt zu den „vom Aussterben bedrohten“ Amphibienarten (PODLOUCKY & FISCHER 2013). Die rezenten Vorkommen befinden sich in Sekundärlebensräumen und sind meist von einem geeigneten Habitatmanagement abhängig (BUSCHMANN 2001). Im Landkreis Schaumburg (Süd-niedersachsen) konnte – entgegen dem niedersachsen- und deutschlandweiten Negativtrend (KÜHNEL et al. 2009) – durch Maßnahmen des NABU-Artenschutzprojekts „Gelbbauchunke“ eine positive Bestandsentwicklung erreicht werden (BUSCHMANN & SCHEEL 2009). Aufgrund ihrer hohen Lebenserwartung, die im Freiland über 20 Jahre betragen kann (GOLLMANN & GOLLMANN 2012), ist die Gelbbauchunke prädestiniert für langjährige populationsbiologische Untersuchungen (PLYTYCZ et al. 1996). Im Rahmen des Artenschutzprojektes wurden Studien über die Raumnutzung (JACOB et al. 2009) sowie zur Populationsstruktur und -entwicklung (BUSCHMANN et al. 2013) durchgeführt. Als wichtiger Teil der Populationsstruktur wurde der Populationsaufbau in Längenfrequenzdiagrammen anhand der Kopf-Rumpf-Länge (KRL) der Individuen charakterisiert (vgl. JACOB 2007, HÖPPNER 2010, BUSCHMANN et al. 2013). Hierdurch kann der Zustand einer Population in einem bestimmten Habitat über Jahre zurückverfolgt werden (ABBÜHL & DURRER 1993, KAPFBERGER 1984).

Die KRL hängt von verschiedenen Faktoren wie den Witterungsbedingungen während der bei Amphibien lebenslangen Wachstumsphase und dem Alter der Gelbbauchunke ab (ABBÜHL & DURRER 1993, PLYTYCZ & BIGAJ 1993, HOTA 1994, GÜNTHER & SCHEIDT 1996). Wachstumsbeeinflussende Faktoren sind im Wesentlichen die Umweltfaktoren Temperatur, Nahrungsverfügbarkeit und Tageslänge während der Aktivitätsphase (April bis September) der Gelbbauchunke (vgl. ABBÜHL & DURRER 1993, CAYUELA et al. 2014) sowie die Konkurrenzsituation. Der wichtige, allerdings oft unbeachtete Faktor Wachstum lässt Rückschlüsse auf die Qualität des Lebensraums und die Überlebens-

wahrscheinlichkeit zu (vgl. ABBÜHL & DURRER 1993, CAYUELA et al. 2014). Eine schlechte Konstitution eines Individuums geht einher mit reduzierter Fitness und geringerem Wachstum (vgl. ABBÜHL & DURRER 1993, SCHEELE et al. 2014). Das Wachstum kann demnach als Indikator für die Entwicklung und Bewertung von Gelbbauchunkenpopulationen genutzt werden (IUCN/SSC 2013). Auch das Habitatmanagement und die Eignung von Lebensräumen (z. B. bei Wiederansiedlungen) kann anhand der Wachstumsrate bewertet werden. Ein geringeres Längenwachstum ist ein Hinweis auf ungünstige Umweltbedingungen, die langfristig eine langsamere Populationsentwicklung zur Folge haben können (vgl. ABBÜHL & DURRER 1993).

Amphibien haben eine komplexe Ökologie mit zwei meist sehr unterschiedlichen Habitaten (aquatisch und terrestrisch) und mit zwei grundsätzlich verschiedenen Wachstumsphasen (HOTA 1994): eine in der Regel schnelle Larvalentwicklung der aquatisch lebenden Kaulquappen (BÖLL 2002) und eine vergleichsweise langsame Entwicklung als metamorphosierte Amphibie (HOTA 1994). Das Wachstum der Kaulquappen von Gelbbauchunken wurde detailliert von BÖLL (2002) untersucht. Zum Wachstum der Gelbbauchunke nach der Metamorphose gibt es dagegen bisher nur wenige Studien (KAPFBERGER 1982, 1984, NIEKISCH 1995, MIESLER & GOLLMANN 2000). Diese basieren meist auf geringen Stichprobenumfängen und untersuchen das Wachstum lediglich innerhalb einer Saison.

In dieser Studie wurde das Wachstum der Gelbbauchunke unter natürlichen Bedingungen im Freiland mit einem großen Stichprobenumfang über einen Zeitraum von elf Jahren analysiert. Dabei wurde untersucht, ob sich das Wachstum in verschiedenen Größenklassen unterscheidet und ob bei adulten Individuen überhaupt noch ein Größenzuwachs stattfindet. Weiter wurde geprüft, ob es geschlechterspezifische Unterschiede in der Größenentwicklung gibt. Die Ergebnisse werden mit den ermittelten monatlichen Wachstumsraten von KAPFBERGER (1984), LAAN & VERBOOM (1994) und MIESLER & GOLLMANN (2000) sowie den von PLYTYCZ & BIGAJ (1984) und SY & GROSSE (1998) beschriebenen Größenentwicklungstendenzen verglichen.



**Abb. 1:** Das Untersuchungsgebiet in Niedersachsen und das rezente Verbreitungsgebiet der Gelbbauchunke in Deutschland (BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ 2013).

**Fig. 1:** The study area in Lower Saxony and the recent distribution range of the yellow-bellied toad in Germany (BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ 2013).

## Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet (UG) befindet sich im Landkreis Schaumburg im südlichen Niedersachsen (Abb. 1). Der Süden des Landkreises gehört naturräumlich zum Nördlichen Weserbergland und wird nach Norden von der Schaumburger Börde begrenzt (BUSCHMANN et al. 2006). Naturräumliche Einheiten sind im Westen das Rinteln-Hamelner Weserbergland und im Osten das Calenberger Bergland.

Das UG erstreckt sich über den Bückeberg (Abb. 1) und das südlich vorgelagerte Wesergebirge. Der Bückeberg ist etwa 20 km lang und weist eine maximale Erhebung von 367 m NN auf.

Die Metapopulation der Gelbbauchunke im UG stellt das nördlichste autochthone Vorkommen der Art in Europa dar (BUSCHMANN 2001, BUSCHMANN & SCHEEL 2009, WEIHMANN et al. 2009). Auf dem Bückeberg befinden sich die Hauptvorkommen der Gelbbauchunke in alten, nicht mehr oder teilweise genutzten Steinbrüchen. Genauer handelt es sich um den Steinbruch Liekwegen (170–200 m NN) am Nordrand des Bückebergs, welcher seit 2006 stillgelegt ist, und die Obernkirchener Sandsteinbrüche (350–365 m NN). Beide Steinbrüche sind durch anthropogene Aufschüttungen gekennzeichnet. Der Steinbruch Liekwegen wurde zudem teilweise mit Fremdboden verfüllt (BUSCHMANN et al. 2013).

Der Bückeberg ist aus verschiedenen Kreidesandsteinschichten (Wealden) aufgebaut. Der Südhang besteht aus einer mächtigen Schicht Unterem Wealdenschiefer (dunkle, merglige Schiefertone), der Kambereich und Nordhang aus Mittlerem Wealden-Sandstein, zum Teil mit schwachen Kohleflözen. Typische Bodentypen sind, je nach Lage und Wassereinfluss, saure Pseudogley-Braunerden mit geringer Basensättigung im Unterboden (VON LUCKWALD & UELZMANN 1999, GEODATENPORTAL NIEDERSACHSEN o. J., SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002). Die Lebensräume der Gelbbauchunke sind von durch Steinbruchbetrieb entstandene Rohböden gekennzeichnet.

Weiterhin existieren Vorkommen auf einem ehemaligen Militärgelände der NATO und auf Waldwegen zwischen den Steinbrüchen. Der Bereich des NATO-Geländes ist geologisch durch die Unterkreide und den Oberen Jura (jeweils Tonstein, Mergelstein, Sandstein) geprägt. Die Fahrwege auf dem Gelände sind versiegelt, Gelbbauchunken kommen in den nicht versiegelten Randbereichen und um das Gelände vor. Die hier anzutreffenden Bodentypen sind Braunerde und Regosol (GEODATENPORTAL NIEDERSACHSEN o. J.).

Das Vorkommen im Steinbruch am Messingberg, welcher zum Wesergebirge gehört, ist durch eine Entfernung von gut 6 km Luftlinie und Wanderbarrieren wie Verkehrswegen von der Metapopulation auf dem Bückeberg isoliert. Am Messingberg steht Kalkstein aus Oberem bis Mittlerem Jura (Malm und Dogger) an. Neben Korallenoolithen des Juras finden sich in

Kalkstein eingelagerte Mergel- und Tonschichten. Die prägenden Böden sind Pararendzinen (GEODATENPORTAL NIEDERSACHSEN o. J.). Der Steinbruch wird aktiv betrieben.

Das UG liegt im Übergangsbereich vom subatlantischen zum subkontinentalen Klima. Auf dem Bückeberg liegt der Niederschlag durchschnittlich bei 850 mm pro Jahr. Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt bei 8–8,5 °C (BUSCHMANN et al. 2006).

## Methoden Datengrundlagen

Um den Ausgangsbestand und die Bestandsentwicklung im Rahmen des NABU-Artenschutzprojekts „Gelbbauchunke“ im Landkreis Schaumburg zu dokumentieren, wurden in den Jahren 2000 bis 2007 jeweils zweimal jährlich während der Fortpflanzungsperiode (vorzugsweise im Mai und August) populationsbiologische Untersuchungen mittels der Fang-Wiederfang-Methode durchgeführt (BUSCHMANN & SCHEEL 2009, SCHLÜPMANN & KUPFER 2009, BUSCHMANN et al. 2013). Der aus der achtjährigen Untersuchung resultierende Datensatz dient, mit den ergänzenden Erhebungen von 2010, als Grundlage für die Datenanalyse.



Abb. 2: Der „Bombinograph“ – Apparatur zur Aufnahme der Gelbbauchunken (nach B. SCHEEL).

Fig. 2: The „Bombinograph“. Equipment to take photos of yellow-bellied toads (according to B. SCHEEL).



## Datenerhebung

Zur Datenerhebung wurden an zwei Terminen im Jahr alle gesichteten Gelbbauchunken abgefangen und die individuell gezeichnete Bauchseite (z.B. GOLLMANN & GOLLMANN 2012) mit einer an einem Stativ fixierten Spiegelreflexkamera (Typ: Canon EOS 20 D) unter standardisierten Bedingungen fotografiert (Abb. 2; BUSCHMANN et al. 2013). Neben Gewässern wurden auch Tagesverstecke unter Steinen und Totholz in Gewässernähe abgesucht. Erfasste Tiere wurden in ihr Ursprungshabitat zurückgesetzt.

Bei den Kartierungen im Jahr 2010 wurden juvenile, subadulte, männliche und weibliche Gelbbauchunken unterschieden (BUSCHMANN et al. 2013). Juvenile Tiere sind frisch metamorphosierte Unken, die noch nicht überwintert haben. Subadulte Unken sind diejenigen, die eine KRL  $<30$  mm aufweisen, allerdings schon einmal überwintert haben. Je nach Zeitpunkt nach der Metamorphose (meist ab Ende Juni) sind juvenile und subadulte Gelbbauchunken anhand ihrer KRL und der Ausfärbung des Bauchmusters zu unterscheiden (BUSCHMANN et al. 2013). Allerdings können juvenile Gelbbauchunken im September eine Körperlänge bis 28 mm erreichen und sind dann nicht mehr von langsamwüchsigen Subadulten zu unterscheiden (MIESLER & GOLLMANN 2000, BUSCHMANN et al. 2013). Ab einer KRL von 30 mm gelten Gelbbauchunken als adult (NIEKISCH 1995, GOLLMANN & GOLLMANN 2012). Männliche Tiere werden anhand der Brunftschwien an den Vorderbeinen von weiblichen Gelbbauchunken unterschieden.

## Datenanalyse

Die Auswertung erfolgte anhand der Bauchzeichnung durch Abgleich mit dem bestehenden Fotodatenatz. Unter Zuhilfenahme des Bildes mit Hintergrundraster (0,5 cm Rasterlinienabstand) wurde die KRL am Computer millimetergenau bestimmt (Abb. 3). Der Messfehler wird durch sanftes Andrücken der Tiere reduziert, kann allerdings rund 10 % betragen. SEIDEL (1988) beschreibt bei Messungen mit der Schieblehre Messfehler bis zu 15 %.

Für die Datenanalyse wurden der Kruskal-Wallis-H-Test (mit dem Dunns Test als Post-hoc-Test) zum Vergleich mehrerer Gruppen und der Mann-Whitney-U-Test für den Vergleich von zwei Gruppen angewendet. Alle statistischen Analysen erfolgten mit dem Programm SigmaPlot® 11.0.

Für die statistische Auswertung des Wachstums wurde, angelehnt an NIEKISCH (1995), eine Einteilung in vier Größenklassen vorgenommen. Dort sind die Unken zu Größenklassen mit einer Länge von jeweils 9 mm zusammengefasst (Tab. 1). Tiere mit einer KRL von  $\geq 48$  mm wurden aufgrund der geringen Anzahl (Männchen:  $n = 4$ ; Weibchen:  $n = 16$ ) nicht in die statistische Auswertung einbezogen. Da sich das

**Tab. 1:** Größenklasseneinteilung von Gelbbauchunken. Kopf-Rumpf-Länge = KRL.

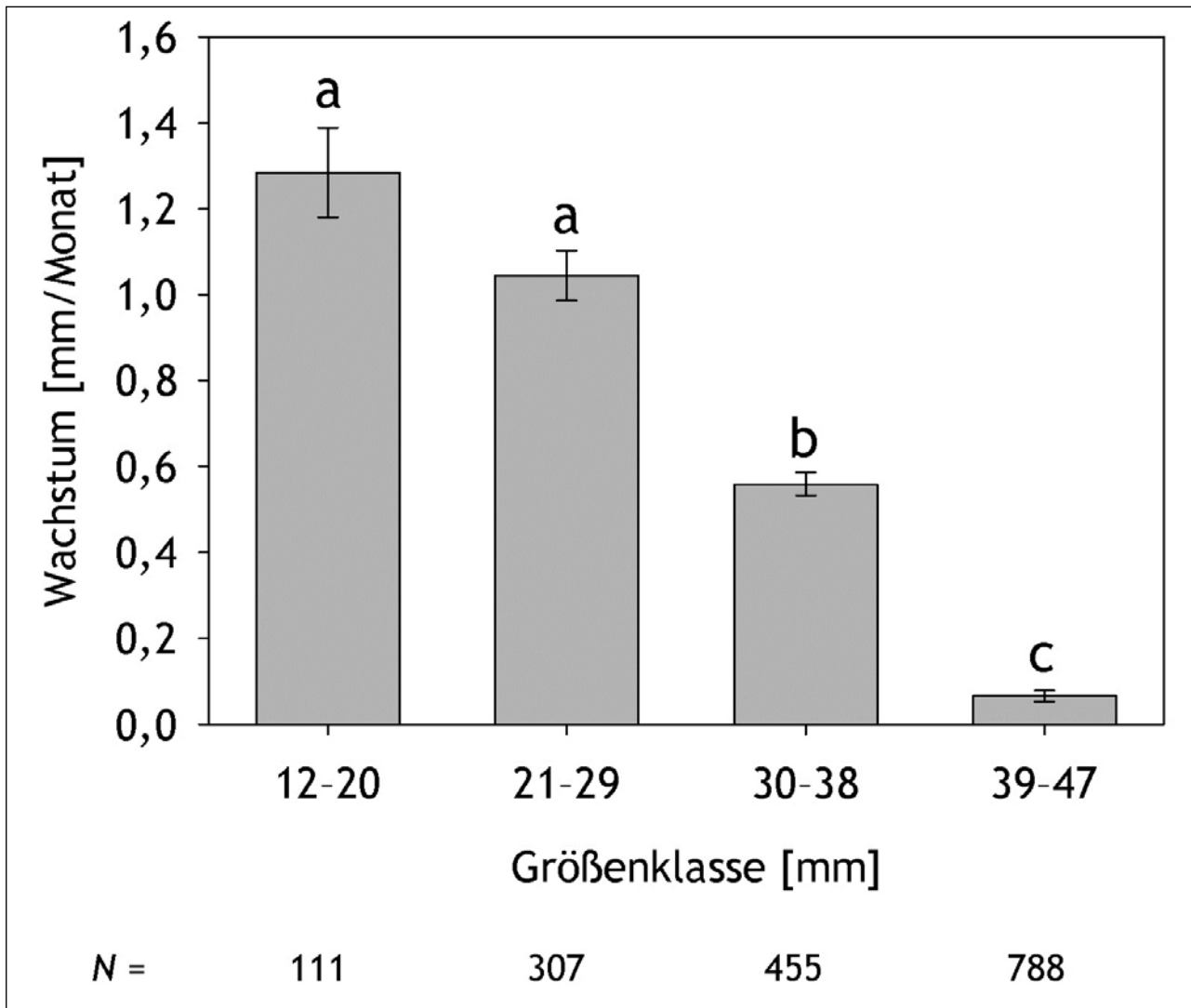
**Tab. 1:** Size classification of yellow-bellied toads. KRL = snout-vent length.

Größenklasse (NIEKISCH 1995)	KRL [mm]	Neue Größenklasse [mm]
G1	12–14	
G2	15–17	12–20
G3	18–20	
G4	21–23	
G5	24–26	21–29
G6	27–29	
G7	30–32	
G8	33–35	30–38
G9	36–38	
G10	39–41	
G11	42–44	39–47
G12	45–47	



**Abb. 3:** Aufnahme der Ventralseite einer Unke in dem speziell dafür gefertigten Objektträger. Der Abstand der Linien im Raster beträgt 5 mm (nach B. SCHEEL).

**Fig. 3:** Recording of the ventral side of a yellow-bellied toad with a specimen holder. The grids have a width of 5 mm (according to B. SCHEEL).



**Abb. 4:** Monatliches Wachstum (Mittelwert  $\pm$  Standardfehler) von Gelbbauchunken unabhängig von der Dauer zwischen Fang und Wiederfang. Kruskal-Wallis-H-Test:  $\chi^2 = 752,530$ ,  $FG = 3$ ,  $P < 0,001$ . Paarweise Vergleiche wurden mittels Dunns Test durchgeführt. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet ( $P < 0,05$ ).  
**Fig. 4:** Monthly growth rate (mean  $\pm$  SE) of yellow-bellied toads independent of the duration between capture and recapture. Kruskal-Wallis H test:  $\chi^2 = 752,530$ ,  $df = 3$ ,  $P < 0,001$ . Pairwise comparisons were done using Dunn's test. Significant differences between groups are indicated by different letters ( $P < 0,05$ ).

Wachstum von adulten Gelbbauchunken nicht signifikant zwischen den Geschlechtern unterschied (Mann-Whitney-U-Test: 30–38 mm,  $U = 23502,5$ ,  $P = 0,12$ ; 39–47 mm,  $U = 70486$ ,  $P = 0,45$ ), unterblieb im Folgenden eine Unterteilung in Männchen und Weibchen.

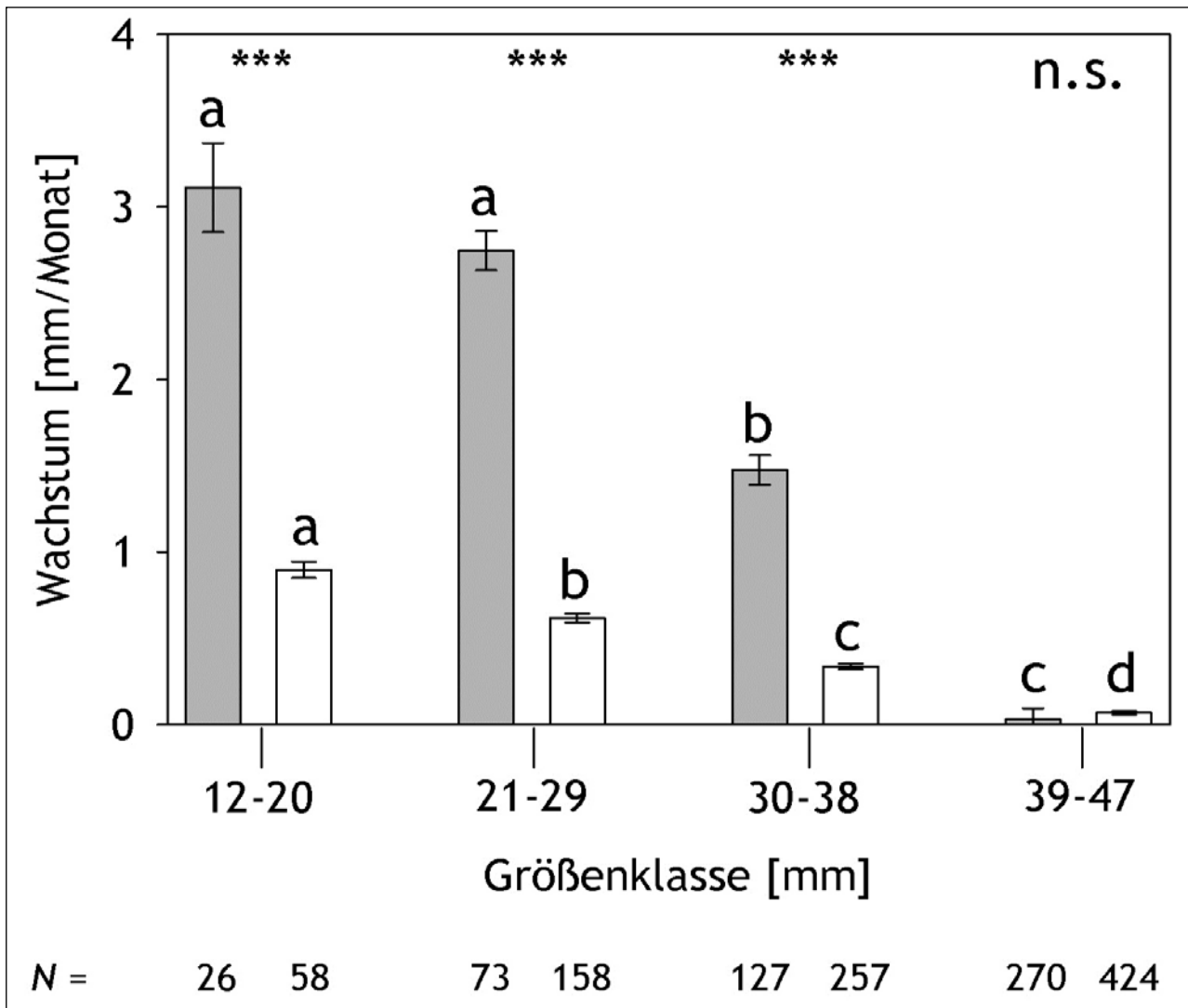
### Ergebnisse

Insgesamt wurden in dieser Studie 1661 Individuen der Gelbbauchunke mindestens zweimal gefangen. Hiervon waren 1243 Tiere adult (KRL:  $\geq 30$  mm). Männliche Gelbbauchunken wurden in beiden Größenklassen mit adulten Tieren häufiger gefangen als Weibchen (Verhältnis 1,18:1 [KRL: 30–38 mm,  $N = 246$  Männchen,  $N = 209$  Weibchen] und 1,66:1 [39–47 mm,  $N = 492$ ,  $N = 296$ ]).

Bei Betrachtung aller erfassten Individuen nahm die monatliche Wachstumsrate mit zunehmender Grö-

ße signifikant ab (Abb. 4). Lediglich zwischen den Individuen der beiden Größenklassen mit der geringsten Körpergröße (KRL: 12–20 mm und 21–29 mm; juvenile und subadulte Tiere) bestanden keine signifikanten Unterschiede bei den paarweisen Vergleichen. In der Größenklasse von 39–47 mm war das Wachstum so gering, dass es bereits im Bereich des Messfehlers lag.

Auch bei der Unterscheidung von Tieren, die während einer Fortpflanzungsperiode und in zwei aufeinander folgenden Fortpflanzungsperioden wiedergefangen wurden, war die monatliche Wachstumsrate signifikant negativ mit der Körpergröße korreliert (Abb. 5). Bei Wiederfängen innerhalb einer Fortpflanzungsperiode nahm die mittlere monatliche Wachstumsrate ( $\pm$  Standardfehler) in den vier Größenklassen folgendermaßen ab:  $3,1 \pm 0,3$  mm,  $2,8 \pm 0,1$  mm,  $1,5 \pm 0,1$  mm und  $0,0 \pm 0,1$ . Lediglich die beiden Größenklassen mit der geringsten Körpergrö-



**Abb. 5:** Monatliches Wachstum (Mittelwert  $\pm$  Standardfehler) von Gelbbauchunken, die innerhalb einer Fortpflanzungsperiode zweimal gefangen wurden (grau) und die in zwei aufeinanderfolgenden Fortpflanzungsperioden – also nach einer Überwinterung – jeweils einmal gefangen wurden (weiß). Kruskal-Wallis-H-Test: eine Vegetationsperiode,  $\chi^2 = 277,705$ , FG = 3,  $P < 0,001$ ; zwei Vegetationsperioden,  $\chi^2 = 418,694$ , FG = 3,  $P < 0,001$ . Signifikante Unterschiede (Dunn's Test) zwischen den Gruppen sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet ( $P < 0,05$ ). Mann-Whitney-U-Test (eine vs. zwei Vegetationsperioden): 12–20 mm:  $U = 63$ ,  $P < 0,001$ ; 21–29 mm:  $U = 264$ ,  $P < 0,001$ ; 30–38 mm:  $U = 3677$ ,  $P < 0,001$ ; 39–47 mm:  $U = 55342$ ,  $P = 0,46$ .

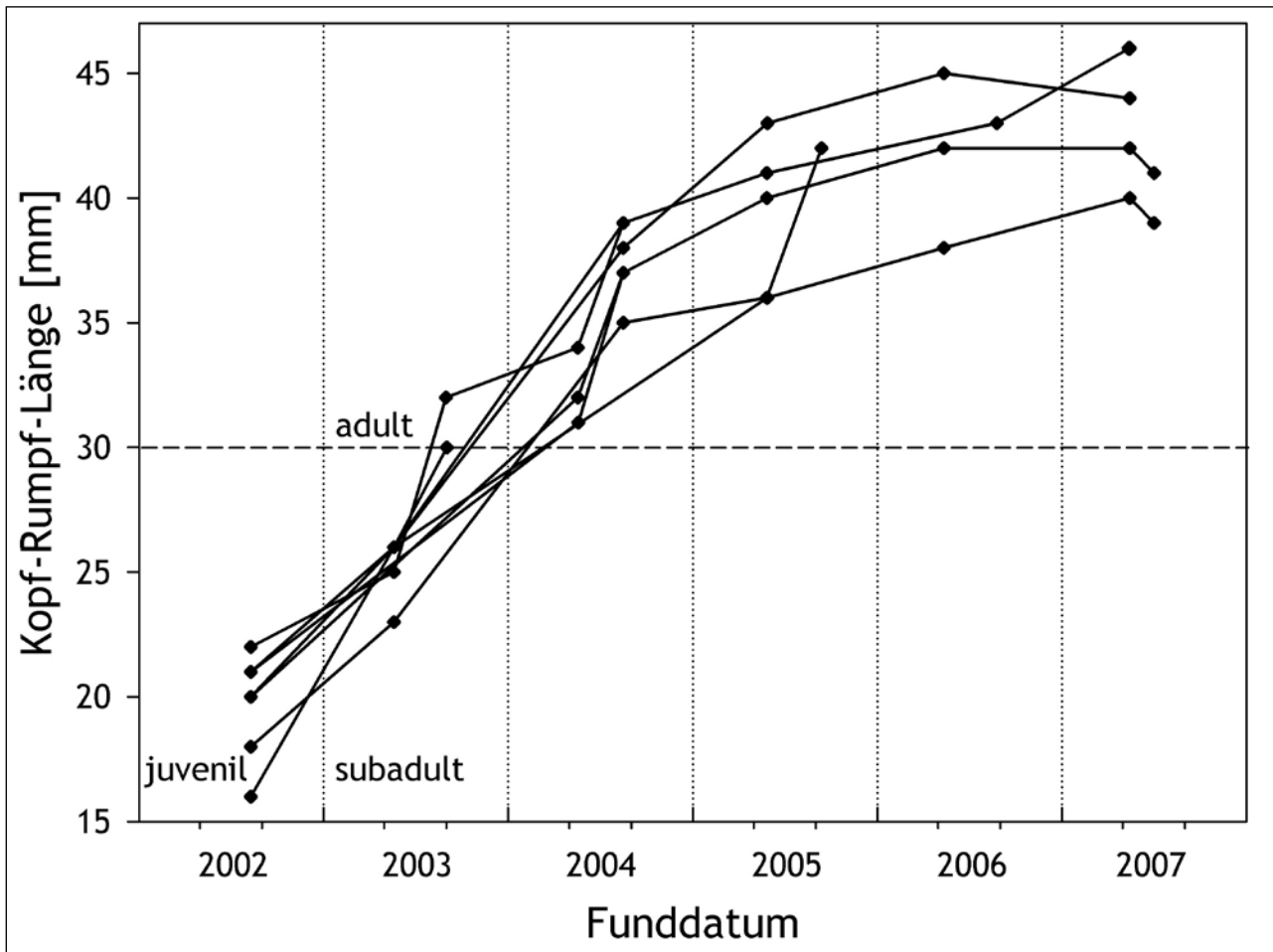
**Fig. 5:** Monthly growth rate (mean  $\pm$  SE) of yellow-bellied toads captured twice within one spawning season (grey) and during two consecutive spawning seasons (after hibernation) (white), respectively. Kruskal-Wallis H test: one growing season,  $\chi^2 = 277.705$ , df = 3,  $P < 0.001$ ; two growing seasons,  $\chi^2 = 418.694$ , df = 3,  $P < 0.001$ . Significant differences (Dunn's test) between groups are indicated by different letters ( $P < 0.05$ ). Mann-Whitney U test (one vs. two growing seasons): 12–20 mm:  $U = 63$ ,  $P < 0.001$ ; 21–29 mm:  $U = 264$ ,  $P < 0.001$ ; 30–38 mm:  $U = 3677$ ,  $P < 0.001$ ; 39–47 mm:  $U = 55342$ ,  $P = 0.46$ .

ße (KRL: 12–20 mm und 21–29 mm) unterschieden sich wiederum nicht signifikant in den paarweisen Vergleichen. Bei Wiederfängen nach einer Überwinterung unterschied sich dagegen die Wachstumsrate aller vier Kategorien signifikant voneinander.

Die monatliche Wachstumsrate während der Fortpflanzungsperiode war in den ersten drei Größenklassen signifikant höher als von einer Fortpflanzungsperiode zur nächsten – unter Berücksichtigung der Überwinterungsphase (Abb. 5). Das Wachstum von adulten Unken mit einer KRL von 39–47 mm unterschied sich dagegen nicht zwischen den beiden Gruppen.

Wie die exemplarische Betrachtung von acht repräsentativen Gelbbauchunkenindividuen zeigt, ent-

spricht das Wachstum eher einer Sättigungskurve als einer linearen Größenzunahme (Abb. 6). Dieses generelle Muster wird aber überlagert durch jahreszeitliche (innerhalb der Fortpflanzungsperiode und zwischen zwei Fortpflanzungsperioden) (Abb. 5) und individuelle Einflüsse (Abb. 6). Im Freiland lassen sich verschiedene Wachstumsphasen erkennen. Direkt nach der Metamorphose und ersten Überwinterung, aber auch nach der zweiten Überwinterung weisen Gelbbauchunken einen enormen Wachstumsschub auf (Abb. 5 und 6). Außerhalb der Fortpflanzungsperiode ist dagegen ein geringes Wachstum festzustellen. Im Alter von rund eineinhalb Jahren bzw. spätestens nach der zweiten Überwinterung erreichen Gelbbauchunken



**Abb. 6:** Beispielhafte Darstellung der Größenentwicklung von acht mehrfach wiedergefangenen Gelbbauchunken. Die waagerechte Linie (gestrichelt) gibt den Übergang zum adulten Stadium wieder (Kopf-Rumpf-Länge:  $\geq 30$  mm), die vertikalen Linien (gepunktet) begrenzen die Jahre. Die Striche auf der x-Achse kennzeichnen die beiden jährlichen Erfassungsperioden (Frühjahr, Spätsommer). **Fig. 6:** Exemplary presentation of growth of eight repeatedly recaptured yellow-bellied toads. The horizontal line (dashed) represents the transition to the adult stage (snout-vent-length:  $\geq 30$  mm), the vertical lines (dotted) delimit the years. The ticks at the x-axis present the two survey periods per year (spring, late summer).

eine KRL über 30 mm und sind adult (geschlechtsreif) (Abb. 6). Spätestens nach der dritten Überwinterung (im vierten Lebensjahr) haben Gelbbauchunken eine KRL von etwa 40 mm und wachsen nur noch sehr langsam oder gar nicht mehr. Es gibt allerdings auch Gelbbauchunken, die nach der fünften Überwinterung noch kleiner als 40 mm sind. Zudem ist bei älteren Adulten teilweise eine Abnahme der KRL festzustellen. Dieser Größenrückgang erfolgte meist zwischen Frühjahr und Hochsommer (s. Jahr 2007 in Abb. 6).

### Diskussion

Bei den gefangenen adulten Gelbbauchunken dominierten in unserer Studie Männchen gegenüber Weibchen mit einem Geschlechterverhältnis von 1,18:1 (KRL: 30–38 mm) bzw. 1,66:1 (KRL: 39–47 mm). BARANDUN (1996) und DI CERBO (2000) erklären vergleichbare Unterschiede im Geschlechterverhältnis durch eine höhere Wiederfangquote männlicher Unken, aufgrund einer höheren Aktivität der Männchen. Zudem ist die Habitatnutzung geschlechterspe-

zifisch unterschiedlich (z. B. NIEKISCH 1995, GOLLMANN & GOLLMANN 2012): Männliche Gelbbauchunken bevorzugen sonnenexponierte, vegetationsarme Fortpflanzungsgewässer. Die Weibchen verlassen die Fortpflanzungsgewässer dagegen meist nach dem Ablachen und leben dann in der Regel versteckt, beispielsweise in vegetationsreicheren, schlechter einsehbaren Aufenthaltsgewässern. Entsprechend werden Männchen leichter gefunden. Hinweise auf ein natürlicherweise unterschiedliches Geschlechterverhältnis oder geschlechtsspezifisch unterschiedliche Sterblichkeiten gibt es bei der Gelbbauchunke nicht (GOLLMANN & GOLLMANN 2012).

Die vorliegende Studie zeigt deutlich, dass das Wachstum der Gelbbauchunke im Freiland negativ mit der Größe der Tiere korreliert ist. Der negative Zusammenhang zwischen Körpergröße und Wachstum bei der Gelbbauchunke ist auch durch andere Autoren belegt (PLYTYCZ & BIGAJ 1984, GOLLMANN & GOLLMANN 2012). In den Größenklassen bis 38 mm KRL konnten wir ausnahmslos Wachstum feststellen. Vermutlich nutzen auch junge adulte Gelbbauchun-



ken (KRL: 30–38 mm) ihre Energie zunächst vor allem zur Nahrungsaufnahme und zum Wachstum, dagegen weniger für die Fortpflanzung.

Die Wachstumsrate von männlichen und weiblichen adulten Gelbbauchunken unterschied sich in unserer Studie nicht. Die Fortpflanzungsperiode ist im Jahresverlauf der Zeitraum mit dem größten Wachstum der Gelbbauchunke. Das intensivste Wachstum erfolgt direkt nach der Metamorphose und der ersten Überwinterung. Die bisher aus der Literatur bekannten mittleren monatlichen Wachstumsraten in den ersten Lebensmonaten liegen zwischen 2–6 mm (KAPFBERGER 1982, LAAN & VERBOOM 1994, NIEKISCH 1995, ABBÜHL 1997, SY & GROSSE 1998, MIESLER & GOLLMANN 2000). In einem Jahr mit günstigen Wachstumsbedingungen (2002) konnten sogar monatliche Zuwächse von 4,7–7,7 mm in den ersten zwei Monaten nach der Metamorphose und danach von rund 4 mm festgestellt werden (GOLLMANN & GOLLMANN 2012). Die in unserem UG am nördlichen Arealrand ermittelten Werte von  $3,1 \pm 0,3$  mm Wachstum pro Monat für Individuen mit einer KRL von 12–20 mm ( $n = 26$ ) decken sich somit gut mit den Literaturdaten.

SY & GROSSE (1998) stellen mit einem mittleren Zuwachs von  $0,9 \pm 1,3$  mm ein stark verlangsamtes Wachstum von subadulten Gelbbauchunken nach der Überwinterung fest. Die Werte basieren allerdings auf einem geringen Stichprobenumfang ( $n = 12$ ). Im Gegensatz zu SY & GROSSE (1998) gab es in unserer Studie keine Unterschiede im Wachstum von Tieren mit einer KRL von 12–20 mm und 21–29 mm. Die ermittelten Wachstumsraten von  $2,75 \pm 0,1$  mm pro Monat ( $n = 73$ ) entsprechen eher den aus anderen Publikationen bekannten Werten von 2,8–4,2 mm (LAAN & VERBOOM 1994, MIESLER & GOLLMANN 2000).

Junge adulte Gelbbauchunken (KRL: 30–38 mm) weisen im UG eine monatliche Wachstumsrate von  $1,5 \pm 0,1$  mm ( $n = 127$ ) auf. Die von uns erhobenen Werte liegen damit genau in der Mitte der auf wenigen Stichproben (jeweils  $n = 7$ ) beruhenden und aus der Literatur bekannten Wachstumsraten von 0,4–2,6 mm pro Monat (SY & GROSSE 1998, MIESLER & GOLLMANN 2000).

Übereinstimmend mit SY & GROSSE (1998) wurden bei Individuen mit einer KRL von 39–47 mm äußerst geringe Zuwachsraten gefunden; teilweise wurden bei Wiederfängen sogar geringere KRL festgestellt (eig. Beob.). Von Mai bis August konnte die ermittelte Größe um bis zu 5 mm geringer ausfallen. Der „Schrumpfungsprozess“ ist dabei vermutlich ein methodisch bedingtes Artefakt, da die Tiere für die fotografische Erfassung leicht angedrückt wurden (Abb. 3). Vor allem bei wohlgenährten Männchen und Weibchen führt dies im Mai zu einer Streckung des Körpers, welche nach der Fortpflanzungsperiode im August nicht mehr so stark ist. Bei weiblichen Gelbbauchunken ist der methodisch bedingte Mess-

fehler vermutlich aufgrund des Laichansatzes und der körperlichen Konstitution häufiger vorhanden. Zudem können Unken ihre Wirbelsäule in alle Richtungen biegen (GOLLMANN & GOLLMANN 2012), wodurch es zu Messfehlern kommen kann. Dennoch soll hier nicht ausgeschlossen werden, dass bei einzelnen alten Individuen ein natürlich bedingter Größenrückgang vorliegen kann. Das Gros der adulten Gelbbauchunken scheint dagegen noch ein geringes, kontinuierliches Wachstum aufzuweisen (vgl. KARA 1994, GÜNTHER & SCHEIDT 1996), da die Tiere im UG KRL bis zu 52 mm erreichen (eig. Beob.).

Auffällig ist, dass die bisherigen Untersuchungen zur Größenentwicklung der Gelbbauchunke meist auf relativ kleinen Stichproben beruhen. Zudem umfassten die meisten Studien nur eine Fortpflanzungsperiode, so dass klimatisch sehr günstige, ebenso wie eher ungünstige Jahre zu abweichenden Werten führen können. Beides war in der vorliegenden Studie, bis auf die vergleichsweise geringe Stichprobengröße beim Wachstum juveniler Gelbbauchunken ( $n = 26$ ), nicht der Fall. Den ermittelten Wachstumsraten liegt eine Langzeiterfassung über elf Jahre zugrunde, in der sich zufällig auftretende, wachstumsbegünstigende oder -hemmende Klimaextreme herausmitteln. Dennoch sind die Unterschiede zu vorangegangenen Studien nicht besonders hoch, die ermittelten Wachstumsraten stimmen sogar weitgehend überein.

Die Wachstumsrate zwischen Individuen, die innerhalb einer Fortpflanzungsperiode zweimal wiedergefangen wurden, und denen, die erst im nächsten Jahr wiedergefangen wurden, unterscheidet sich für alle Größenklassen. Eine Ausnahme sind lediglich Adulte mit einer KRL von 39–47 mm, die generell kaum noch wachsen (s. o.). Die deutlichen Wachstumsunterschiede belegen, dass innerhalb der Fortpflanzungsperiode zwischen Mai und August der stärkste Größenzuwachs bei der Gelbbauchunke erfolgt. Dies stimmt mit den Befunden von KAPFBERGER (1982, 1984) sowie LAAN & VERBOOM (1994) überein, die eine positive Korrelation zwischen Wachstumsgeschwindigkeit und Temperatur ermittelt haben. Juvenile Gelbbauchunken, die über die Wintermonate (November bis Februar) in Terrarien aufgezogen wurden, wiesen ein maximales Wachstum von 1 mm ( $n = 29$ ) pro Monat auf; dabei war die Nahrungsaufnahme reduziert (eig. Beob.). Da das Wachstum trotz Raumtemperatur (18 °C) und ausreichender Nahrungsverfügbarkeit reduziert war, scheinen – neben der Temperatur – weitere exogene Faktoren wie Tageslänge und -licht das Wachstum zu beeinflussen (vgl. BUSCHMANN 2007). Tageslänge oder Licht induzieren vermutlich endogene Mechanismen für eine bevorstehende Überwinterungsperiode, die zu einer reduzierten Nahrungsaufnahme und Wachstumsrate führen. Diese Faktoren wirken in den Wintermonaten wahrscheinlich limitierend, sodass keine Energie für das Wachstum zur Verfügung steht.

Das Wachstum von Unken ist individuell unterschiedlich (vgl. PLYTYCZ & BIGAJ 1993). Die Beobachtung, dass es auch kleinwüchsige Unken gibt, die im 5. Lebensjahr noch nicht größer als 40 mm sind, ist ein weiterer Beleg für die großen individuellen Unterschiede in der Größenentwicklung der Gelbbauchunke. Entsprechend der großen individuellen Variabilität schloss DI CERBO (2000), dass das Alter von Gelbbauchunken nicht mit der Körperlänge korreliert. Im Gegensatz dazu stellen SY & GROSSE (1998) zumindest einen schwachen positiven Zusammenhang zwischen Größe und Alter fest. Insbesondere bei Juvenilen und Subadulten hängt die spätere Größe stark mit dem Metamorphosezeitpunkt zusammen (GOLLMANN & GOLLMANN 2012). Mit fortschreitendem Alter der Tiere erfolgt allerdings eine zunehmende Angleichung der Größe (PLYTYCZ & BIGAJ 1993, MIESLER & GOLLMANN 2000).

### Das Wachstum als Indikator für den Erhaltungszustand von Gelbbauchunkenpopulationen

Das Wachstum von Gelbbauchunken kann, wie der Konditionsindex (SCHEELE et al. 2014), als Indikator für den Erhaltungszustand einer Population genutzt werden. Daher ist das biologische Hintergrundwissen über das Wachstum im natürlichen Verbreitungsgebiet einer Art als Bestandteil der IUCN-Richtlinie für Wiederansiedlungen aufgenommen worden (IUCN/SSC 2013). Größere Jungtiere haben einen Fitnessvorteil, da sie aufgrund ihrer opportunistischen Lebensweise (bei ausreichend Beutetieren) ein breiteres Nahrungsspektrum nutzen können als kleinere Jungtiere (vgl. BÖLL 2002). Der durchschnittliche Längenzuwachs lässt Rückschlüsse auf die Fitness der Gelbbauchunken und die Qualität des Lebensraums zu (CAYUELA et al. 2014). So lassen sich Aussagen zur Nahrungsverfügbarkeit und damit über die Überlebenswahrscheinlichkeit der Individuen der Population treffen. Darüber hinaus kann eine geringere Wachstumsrate bzw. Körpergröße ein Indikator für erhöhte intraspezifische Konkurrenz aufgrund der Sättigung eines Lebensraums mit Individuen sein (CAYUELA et al. 2015) oder andere limitierende Faktoren aufzeigen. So können ungünstige abiotische Faktoren (niedrige Temperaturen, wenig Sonnenschein, zu geringe Niederschläge) zu geringem Wachstum und zum Auslassen einer Fortpflanzungsperiode führen (BÖLL 2002, CAYUELA et al. 2014). Informationen über das Wachstum von Jungtieren lassen zudem Rückschlüsse über den Reproduktionserfolg in der Zukunft zu (vgl. CAYUELA et al. 2014). Denn bei einer geringen Wachstumsrate erreichen Gelbbauchunken die Geschlechtsreife später und nehmen wahrscheinlich auch erst später an der Reproduktion teil (vgl. ABBÜHL & DURRER 1993). In Bezug auf die Lage des Untersuchungsgebietes am nördlichen Arealrand sprechen die durchschnittlichen Wachstumsraten für

eine ausreichende Habitatqualität für die Gelbbauchunkenpopulationen (vgl. SCHMIDT 2016) und keine klimatische Limitierung beim Wachstum.

### Danksagung

Für die Unterstützung des Monitorings und die Ausleihe von Kameraequipment danken wir BRUNO SCHEEL und ANDREAS JACOB. Für konstruktive Anmerkungen zum Manuskript gilt unser Dank MAIKE HÖPPNER, MIRJAM NADJAFZADEH und MARTIN SCHLÜPMANN.

### Literatur

- ABBÜHL, R. & H. DURRER (1993): Zum Bestand der Gelbbauchunke *Bombina variegata variegata* (L.) in der Region Basel. – Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft Basel, **103**: 73–80.
- ABBÜHL, R. (1997): Zur Ökologie der Gelbbauchunke (*Bombina variegata variegata* L.). Populationsdynamik, Habitats- und Verhaltensstudien als Grundlage zum Schutz. – Unveröffentlichte Dissertation, Universität Basel, 131 pp.
- BARANDUN, J. (1996): Vermehrung von Gelbbauchunken: Erkenntnisse und ihre Anwendung im Artenschutz. – Naturschutzreport, **11**: 56–60.
- BOSMAN, W. & B. CROMBAGHS (2004): De geelbuikvuurpad in Limburg in 2004. Een onderzoek naar populatieomvang en voortplantingssucces in de laatste leefgebieden. – Unveröffentlichter Bericht, Ecologisch adviesbureau Groenlanden, 48 pp.
- BÖLL, S. (2002). Ephemere Laichgewässer: Anpassungsstrategien und physiologische Zwänge der Gelbbauchunke (*Bombina variegata*) in einem Lebensraum mit unvorhersehbarem Austrocknungsrisiko. – Unveröffentlichte Dissertation, Universität Würzburg, 196 pp.
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2013): Ergebnisse nationaler FFH-Bericht, Arten in der kontinentalen biogeografischen Region. – Available at [https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/natur2000/Dokumente/arten\\_kon.pdf](https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/natur2000/Dokumente/arten_kon.pdf), accessed on 06 February 2017.
- BUSCHMANN, H. (2001): Bemerkungen zum Vorkommen der Gelbbauchunke, *Bombina variegata variegata* (LINNAEUS, 1758) im Schaumburger Land, Niedersachsen, BR Deutschland. – Herpetozoa, **14**: 21–30.
- BUSCHMANN, H., B. SCHEEL & T. BRANDT (2006): Amphibien und Reptilien im Schaumburger Land und am Steinhuder Meer. – Natur und Text, Rangsdorf, 184 pp.
- BUSCHMANN, H. (2007): Können Larven der Gelbbauchunke (*Bombina variegata*) überwintern? – Rana, **8**: 9–14.
- BUSCHMANN, H. & B. SCHEEL (2009): Das Artenschutzprojekt Gelbbauchunke (*Bombina variegata*) im Landkreis Schaumburg, Niedersachsen. – Rana, **10**: 8–17.
- BUSCHMANN, H., B. SCHEEL & A. JACOB (2013): Populationsstruktur und -entwicklung der Gelbbauchunke (*Bombina variegata*) in Schaumburg (Niedersachsen). – Zeitschrift für Feldherpetologie, **20**: 11–36.
- CAYUELA, H., A. BESNARD, E. BONNAIRE, H. PERRET, J. RIVOALEN, C. MIAUD & P. JOLY (2014). To breed or not to breed: past reproductive status and environmental cues drive current breeding decisions in a long-lived amphibian. – Oecologia, **176** (1): 107–116.

- CAYUELA, H., L. QUAY, A. DUMET, J.P. LÉNA, C. MIAUD & V. RIVIÈRE (2015): Intensive vehicle traffic impacts morphology and endocrine stress response in a threatened amphibian. – *Oryx*, **51** (1): 182–188.
- DI CERBO, A.-R. (2000): Activity patterns di *Bombina variegata* (L., 1758) (Anura: *Bombinatoridae*) in relazione al sesso e all'età: primi risultati. – pp. 89–96 in: GIACOMA, C. (ed.): Atti I Congr. Naz. SHI, Mus. Reg. Sci. nat. Torino.
- GEODATENPORTAL NIEDERSACHSEN (GDI-NI) (o. J.): NiedersachsenViewerplus. Geologische Übersichtskarte 1:500.000 und Bodentypenkarte 1:50.000. – available at [http://www.geodaten.niedersachsen.de/live/live.php?navigation\\_id=8648&psmand=28](http://www.geodaten.niedersachsen.de/live/live.php?navigation_id=8648&psmand=28), accessed on 02 June 2010.
- GOLLMANN, B. & G. GOLLMANN (2012): Die Gelbbauchunke – von der Suhle zur Radspur. – Beiheft zur Zeitschrift für Feldherpetologie, **4**, 2. Auflage, 176 pp.
- GÜNTHER, R. & U. SCHEIDT (1996): Geburtshelferkröte – *Alytes obstetricans* (LAURENTI, 1768). – pp. 195–214 in: GÜNTHER, R. (ed): Die Amphibien und Reptilien Deutschlands. Gustav Fischer Verlag, Jena, 825 pp.
- HOTA, A. K. (1994). Growth in amphibians. – *Gerontology*, **40** (2–4): 147–160.
- HÖPPNER, C. (2010): *Bombina variegata* auf dem Rückzug!? Es geht auch anders! Populationsstruktur und Größenentwicklung einer Gelbbauchunkenpopulation (*Bombina variegata*) im nördlichsten Verbreitungsgebiet in Süd-Niedersachsen. – Unveröffentlichte Bachelorarbeit am Institut für Landschaftsökologie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, 22 pp.
- IUCN/SSC (2013): Guidelines for Reintroductions and Other Conservation Translocations. – Version 1.0. Gland, Switzerland: IUCN Species Survival Commission, 72 pp.
- JACOB, A. (2007): Untersuchung einer Metapopulation der Gelbbauchunke (*Bombina variegata*, L. 1758) an ihrer nördlichen Verbreitungsgrenze. – Unveröffentlichte Masterarbeit am Institut für Biologische Diversität und Ökologie, Georg-August-Universität Göttingen, 135 pp.
- JACOB, A., B. SCHEEL & H. BUSCHMANN (2009): Raumnutzung in einer Metapopulation der Gelbbauchunke (*Bombina variegata*) an ihrer nördlichen Verbreitungsgrenze. – *Zeitschrift für Feldherpetologie*, **16**: 85–102.
- KAPFBERGER, D. (1982): Untersuchungen zur Ökologie der Gelbbauchunke, *Bombina variegata variegata*, L. 1758 (Amphibia, Anura). – Unveröffentlichte Diplomarbeit am Institut für Zoologie I, Friedrich-Alexander Universität Erlangen – Nürnberg, 107 pp.
- KAPFBERGER, D. (1984): Untersuchungen zu Populationsaufbau, Wachstum und Ortsbeziehung der Gelbbauchunke, *Bombina variegata variegata* (LINNAEUS, 1758). – *Zoologischer Anzeiger*, **212**: 105–116.
- KARA, T. C. (1994). Ageing in amphibians. – *Gerontology*, **40** (2–4): 161–173.
- KÜHNEL, K.-D., A. GEIGER, H. LAUFER, R. PODLOUCKY & M. SCHLÜPMANN (2009): Rote Liste und Gesamtartenliste der Lurche (Amphibia) Deutschlands. – *Naturschutz und biologische Vielfalt*, **70** (1): 259–288.
- LAAN, R. M. & B. VERBOOM (1994): De Geelbuikvuurpad in Limburg: Het kann nog steeds. – *Natuurhistorisch Maanblad*, **83**: 10–18.
- LINNAEUS, C. (1758): *Systema Naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis. Editio decima, reformata.* Tomus I. – Laurentius Salvius, Stockholm, 4 + 824 pp.
- MIESLER, M. & B. GOLLMANN (2000): Populationsstruktur, Wachstum und Fortpflanzung der Gelbbauchunke: eine Einjahres-Studie aus dem Lainzer Tiergarten. – *Herpetozoa*, **13**: 45–54.
- NIKISCH, M. (1995): Die Gelbbauchunke: Biologie, Gefährdung, Schutz. – VERLAG, Weikersheim, 234 pp.
- PLYTYCZ, B. & J. BIGAJ (1984): Preliminary studies on the growth and movements of the yellow-bellied toad, *Bombina variegata*, (Anura: Discoglossidae). – *Amphibia-Reptilia*, **5**: 81–86.
- PLYTYCZ, B. & J. BIGAJ (1993): Studies on the growth and longevity of the yellow-bellied toad, *Bombina variegata*, in natural environments. – *Amphibia-Reptilia*, **14**: 35–44.
- PLYTYCZ, B., A. JOZKOWICZ, M. CHADZINSKA & J. BIGAJ (1996): Longevity of yellow-bellied toads (*Bombina variegata*) and the efficiency of their immune system. – *Naturschutzreport*, **11**: 77–84.
- PODLOUCKY, R. & C. FISCHER (2013): Rote Listen und Gesamtartenlisten der Amphibien und Reptilien in Niedersachsen und Bremen. 4. Fassung, Stand Januar 2013. – Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, **33** (4/13): 121–168.
- SACHS, L. & J. HEDDERICH (2006): *Angewandte Statistik. Methodensammlung mit R.* – 12. Aufl., Heidelberg, 702 pp.
- SCHEELE, B. C., C. E. BOYD, J. FISCHER, A. W. FLETCHER, J. HANSPACH & T. HARTEL (2014): Identifying core habitat before it's too late: the case of *Bombina variegata*, an internationally endangered amphibian. – *Biodiversity and conservation*, **23** (3): 775–780.
- SCHIEFFER, F. & P. SCHACHTSCHABEL (2002): *Lehrbuch der Bodenkunde.* – 15. Auflage, VERLAG, Heidelberg, 593 pp.
- SCHLÜPMANN, M. & A. KUPFER (2009): Methoden der Amphibienerfassung – eine Übersicht. – pp. 7–84 in: HACHTEL, M., M. SCHLÜPMANN, B. THIESMEIER & K. WEDDELING (ed): *Methoden der Feldherpetologie.* – Laurenti-Verlag, Bielefeld, 424 pp.
- SCHMIDT, B.R. (2016): Wetter und Lebensraumstabilität beeinflussen die Demographie und Metapopulationsdynamik der Gelbbauchunke (*Bombina variegata*). – *Zeitschrift für Feldherpetologie*, **23**: 129–140.
- SEIDEL, B. (1988): Die Struktur, Dynamik und Fortpflanzungsbiologie einer Gelbbauchunkenpopulation (*Bombina variegata variegata* L., Discoglossidae, Anura, Amphibia) in einem Habitat mit temporären Kleingewässern im Waldviertel (Niederösterreich). – Unveröffentlichte Dissertation, Universität Wien, 81 pp.
- SEIDEL, B. (1996): Streifzug durch die Verhaltens- und Populationsbiologie von Gelbbauchunken, *Bombina variegata* (L., 1758) (Anura: Bombinatoridae), in einem Habitat mit temporären Gewässern. – *Naturschutzreport*, **11**: 16–31.
- SY, T. & W.-R. GROSSE (1998): Populationsökologische Langzeitstudien an Gelbbauchunken (*Bombina v. variegata*) im nordwestlichen Thüringen. – *Zeitschrift für Feldherpetologie*, **5**: 81–113.
- VON LUCKWALD, G. & S. UELZMANN (1999): Bodenabbauantrag zur Fortführung der Sandsteingewinnung in den Obernkirchener Sandsteinbrüchen. – Unveröffentlichter Bodenabbauantrag, 78 pp.
- WEIHMANN, F., PODLOUCKY, R., HAUSWALDT, S. & H. PRÖHL (2009): Naturschutzgenetische Untersuchung von Populationen der Gelbbauchunke (*Bombina v. variegata*) im südlichen Niedersachsen. – *Zeitschrift für Feldherpetologie*, **16**: 183–200.