

## Temperaturabhängiger Brutbeginn, Pflanzenphänologie und Zweitbrutanteil bei der Wasserramsel *Cinclus cinclus*

Johann Hegelbach



HEGELBACH, J. (2013): Spring temperature, plant development, hatching date and frequency of second clutches in the White-throated Dipper *Cinclus cinclus*. Ornithol. Beob. 110: 453–464.

In the 21 years from 1992 to 2012 breeding data of White-throated Dippers were collected in the region of Zurich on the Swiss Plateau, at an altitude of 410 to 680 m a.s.l. The colour-ringed populations of three rivers with a length of 22 km (27 breeding pairs), 7 km (13 bp) and 6 km (7 bp on average) were observed year-round with special effort in spring. Out of 1341 broods a total of 3848 nestlings were ringed at the age of 9–13 days. 876 (65.3 %) of all successful broods were first, 465 (34.7 %) second broods. The yearly hatching dates of first broods were compared with the mean air and water temperature in January, February and March in the corresponding year. Furthermore phytophenological data were analysed, i.e. onset of full flowering for Coltsfoot *Tussilago farfara*, Wood Anemone *Anemone nemorosa*, Cuckoo Flower *Cardamine pratensis* and Dandelion *Taraxacum officinale*, the date at onset of flowering for Cherry tree *Prunus avium*, and the date at onset of foliation for Common Hazel *Corylus avellana*, Horse Chestnut *Aesculus hippocastanum*, European Rowan *Sorbus aucuparia*, Weeping Birch *Betula pendula* and Common Beech *Fagus sylvatica* (air temperature and phytophenological data provided by MeteoSwiss). The median hatching date of first broods was correlated significantly with mean air and water temperatures in February (Spearman rank correlation,  $p < 0.001$  both), whereas in January or March there was only a weak or no correlation. In particular, the onset of flowering of all 4 field flowers analysed was correlated significantly ( $p < 0.001$ ,  $p < 0.05$  resp.) with the Dipper's hatching date, as well as the onset of flowering in the Cherry tree and the onset of foliage of 4 out of the 5 bush and tree plant species. Finally, hatching date of the first broods predicted a precocious or delayed flowering or leaf growth for many plant species. As a principle, air temperature in February influences water temperature and determines the reproduction of Dippers: The proportion of second broods is correlated significantly ( $p < 0.02$ ) with the hatching date of first broods. And, due to the great variability of this date, the proportion of second broods was varying from 20.0 % to 43.4 % per year.

Johann Hegelbach, Institut für Evolutionsforschung und Umwelt, Universität Zürich, Winterthurerstrasse 190, CH–8057 Zürich, E-Mail [johann.hegelbach@ieu.uzh.ch](mailto:johann.hegelbach@ieu.uzh.ch)

Das Thema Klimawandel findet auch in der ornithologischen Literatur ein breites Echo (Burton 1995, Møller et al. 2010). Messreihen zei-

gen seit 1960 vor allem in der Nordhemisphäre eine deutliche Temperaturzunahme, die sich seit 1980 weiter akzentuiert (Dessler & Parson

2011). Sie beeinflusst Verbreitungsgrenzen und den Zeitpunkt und die Ziele des Vogelzuges (u.a. Lehtikoinen & Sparks 2010) sowie die Terminierung der Brutzeit (Crick & Sparks 1999, Both & Te Marvelde 2007). Verhältnismässig wenig behandelt wird dabei der eigentliche Auslöser dieser Verschiebungen, die Temperatur des jeweiligen Lebensraums. Obendrein ist das Augenmerk meistens auf die Erhöhung der Lufttemperatur gerichtet, ebenso auf die direkt damit zusammenhängenden Extremereignisse wie Wirbelstürme, Hitze- und Dürrephasen sowie Regenperioden mit Hochwasserfolgen. Weniger beachtet und weniger spektakulär verläuft die sekundäre Erwärmung des Erdbodens und der Meere, aber auch der binnenländischen Seen und Fliessgewässer. Letztere sind als Lebensraum auch für Vögel von Bedeutung, obwohl die direkte Abhängigkeit von diesem Habitat nur ein kleines Artenspektrum betrifft. Darunter ist die Wasseramsel die am stärksten an Fliessgewässer gebundene Vogelart. Eine Literaturrecherche ergab, dass sich innerhalb der letzten 50 Jahre die Brutzeit deutlich vorverschoben hat (Hegelbach 2001). Damit einher ging allerdings eine verdichtete Besiedlung tieferer Lagen. Die damalige Analyse zeigte die Luft- und Wassertemperatur im Februar des entsprechenden Jahres als ausschlaggebend für den Zeitpunkt des Brutbeginns der Wasseramsel. Ebenfalls stark korrelierte der Brutbeginn mit der Blütezeit des Huflattichs *Tussilago farfara* und des Buschwindröschens *Anemone nemorosa*. Dieser ersten Auswertung lagen neun Brutzeiten zugrunde und der Vergleich basierte auf dem jährlichen Brutbeginn aller Bruten. In der hier vorliegenden Studie kommen weitere 12 Brutzeiten hinzu und vor allen wird strikt auf den Unterschied von Erstgegenüber Zweitbruten geachtet. Im Weiteren wurde das Spektrum der beigezogenen Blütenpflanzen ausgedehnt.

Im Vordergrund standen folgende Fragen: Wird die zeitliche Festlegung der Brutzeit bei der Wasseramsel von äusseren Faktoren gesteuert? Welches sind diese Parameter? Ist der Entwicklungsstand der Pflanzen mit der zeitlichen Fixierung des Brutzyklus der Wasseramsel vergleichbar? Gilt das nur für die Entwicklung der Blüten oder auch für den Austrieb der

Blätter? Besteht ein Zusammenhang zwischen dem Termin der Erstbruten und dem Anteil an Zweitbruten?

## 1. Untersuchungsgebiet, Material und Methoden

### 1.1. Untersuchungsgebiet

Der Zürichsee liegt auf 406 m ü.M. im unteren Teil der collinen Stufe im nördlichen schweizerischen Mittelland. Beidseits des länglichen Sees erheben sich rund 800 m hohe Moränenkämme. Von diesen fliessen Bäche direkt in den Zürichsee oder (im Fall der südwestlich des Sees verlaufenden Sihl) in die vom See weg führende Limmat.

Das Untersuchungsgebiet umfasst drei Fliessgewässer innerhalb einer Fläche von 200 km<sup>2</sup> im unteren Zürichseebecken. Die Sihl ist auf ihrem letzten, 22 km langen Abschnitt ein 20–30 m breiter, aber untiefer Fluss mit einem Gefälle von 6 m/km. Ihre Wassermenge wird am Etzelwerk-Staudamm am Sihlsee auf minimal 2,5 m<sup>3</sup>/s reguliert. Dieser Wert wird nie unterschritten, aber 3–4-mal pro Jahr führt der Fluss Hochwasser mit >80 m<sup>3</sup>/s, was durch die Grösse (2400 km<sup>2</sup>) und die voralpine Lage des Einzugsgebiets erklärt wird. Auf der nordöstlichen Seeseite liegen die beiden kleineren Gewässer, der 6 km lange Wehrenbach am Rand der Stadt Zürich und der 8 km lange Küssnachter Bach mit einer Wasserführung von etwa 0,2 resp. 0,5 m<sup>3</sup>/s zu Normalzeiten bei einem Einzugsgebiet von 9 resp. 13 km<sup>2</sup>. Beide Bäche weisen ein Gefälle von bis zu 30 m/km auf und ihre Erosionskraft wird durch zahlreiche naturnah gebaute Schwellen verringert.

### 1.2. Untersuchungsdauer und Brutbestand

Mit einer Arbeitsgruppe habe ich 1987 begonnen, an den beiden kleineren Gewässern die Wasseramsel-Populationen zu erfassen und individuell zu markieren (Hegelbach 2001, 2009). 1990 wurde der Unterlauf der Sihl mit einbezogen, und seit 1992 ist der Bestand im Untersuchungsgebiet durchgehend individuell beringt. Seither werden an der Sihl von Sihlbrugg bis zur Mündung in die Limmat durch-

schnittlich 27 Brutpaare (BP), am Küsnachter Bach 13 BP und am Wehrenbach weitere 7 BP während des ganzen Jahres intensiv beobachtet. Aufgrund des Aufwandes während der Brutzeit ist gewährleistet, dass, wenn überhaupt, höchstens eine Brut pro Jahr im gesamten Gebiet erst nach dem Ausfliegen oder unter Umständen gar nicht registriert wird.

### 1.3. Erfassung der brutbiologischen Daten

Die Voraussetzung zur korrekten Erfassung des Brutbestandes und der gesamten Jungenproduktion wird bereits im Herbst vor der betreffenden Brutsaison gelegt. In den tieferen Lagen des Mittellandes sind die Wasseramseln wirkliche Standvögel, sie sind das ganze Jahr über weitgehend ortstreu. Die Identität der zukünftigen Brutpartner und deren Reviere lassen sich in den meisten Fällen schon im Oktober oder November des Vorjahres bestimmen. Ab Januar kontrollieren wir die entsprechenden Gewässerstrecken mindestens wöchentlich. Besonders achten wir auf Nestbau- und Brutaktivitäten, und an den zugänglichen Standorten werden die Nester während der Lege- und Bebrütungsphase ein- bis zweimal, dann mindestens einmal während der Fütterungszeit kontrolliert. Die Nestlinge werden im Alter von 9–13 Tagen beringt (Abb. 6). Drei Viertel der Bruten können auf diese Weise verfolgt werden und die Schlüpfzeit ist auf den Tag genau bekannt. Bei schlecht zugänglichen Nestern muss das Schlüpfdatum rückgerechnet werden, was sich auf  $\pm 1$  Tag, maximal 2 Tage genau machen lässt. In diesen Fällen schätze ich das Nestlingsalter aufgrund des Entwicklungsstandes (die am weitesten entwickelte Handschwinge 5–10 mm aus der Scheide getreten, Tarsus  $> 27$  mm bei einem Alter von 12 Tagen; s. auch Glutz von Blotzheim & Bauer 1988) und errechne das Schlüpfdatum. Es ist grundsätzlich nicht möglich, sämtliche Brutbeginne zu erfassen. Gut getarnte und unzugängliche Neststandorte, wo Bruten zwar begonnen, dann aber in einem frühen Stadium abgebrochen werden, bleiben unentdeckt. Deshalb kann nicht zwischen einem tatsächlichen ersten Brutversuch und einer eventuellen Ersatzbrut unterschieden werden. Um die Daten eindeutig und vergleich-

bar zu machen, liegt dieser Arbeit nur jeweils die erste erfolgreiche Brut eines Paares pro Saison zugrunde. Auch die jeweilige Grösse der Bruten bleibt in dieser Studie unberücksichtigt; als Kriterium gilt das Überleben mindestens eines Nestlings bis zum Beringungsalter von 9–13 Tagen. Bei bekanntem Schlüpfstag lässt sich auch der Tag des Brutbeginns errechnen: Bei Erstbruten werden durchschnittlich fünf Eier gelegt, und gebrütet wird ab dem zweitletzten Ei. Die eigentliche Bebrütung der Eier dauert 17 Tage bei den bis Ende März schlüpfenden Bruten, bei den später schlüpfenden 16 Tage. Daraus resultiert eine Dauer von 21–22 Tagen von der Ablage des ersten Eies bis zum Schlüpfen (Schoop 1997). Zur Dauer des vorangegangenen Nestbaus lassen sich hingegen keine verwertbaren Angaben machen: Bereits im November und Dezember des Vorjahres wird an wärmeren Tagen an möglichen (häufig an mehreren) Neststandorten Nistmaterial eingetragen und verarbeitet. An vielen Standorten kann der Nestbau (für die Erstbrut) länger als zwei Monate dauern.

### 1.4. Klimadaten und Pflanzenphänologie

Am Unterlauf der Sihl bei Zürich-Sihlhölzli, auf 412 m ü.M., wird die Wassertemperatur durch das Wasseramt der Baudirektion des Kantons Zürich gemessen und als Tages-Mittelwert gespeichert (einsehbar unter BAFU, Hydrologische Grundlagen und Daten; Nationale Daueruntersuchung der Fliessgewässer). Klimadaten erhebt MeteoSchweiz an der Station Zürich-Fluntern auf 556 m ü.M. Ich verwendete hier die homogenen monatlichen Mittelwerte der Lufttemperatur, gemessen auf 2 m über dem Boden. Pflanzenphänologische Daten werden ebenfalls von MeteoSchweiz auf einem weit verzweigten Netz von Aussenstellen gesammelt. Allerdings sind nicht von allen Stationen sämtliche Angaben über alle Jahre lückenlos vorhanden. Für die Auswertung konnte ich das Datum der Vollblüte des Hufblattichs *Tussilago farfara*, des Buschwindröschens *Anemone nemorosa*, des Wiesenschaumkrauts *Cardamine pratensis* und des Löwenzahns *Taraxacum officinale* heranziehen. Im Weiteren standen die Daten des Beginns der Blüte des

Kirschbaums *Prunus avium* sowie jene der allgemeinen Blattentfaltung des Haselstrauchs *Corylus avellana*, der Rosskastanie *Aesculus hippocastanum*, der Vogelbeere *Sorbus aucuparia*, der Hängebirke *Betula pendula* und der Rotbuche *Fagus sylvatica* zur Verfügung. Diese Daten waren an sechs verschiedenen Stationen (Horgen, Sihlbrugg, Zürich-Albisgütli, -Seebach, -Witikon und -Fluntern) im Untersuchungsgebiete oder in dessen unmittelbarer Umgebung aufgezeichnet worden. Von diesen Pflanzenarten waren von mindestens zwei dieser Stationen aus mindestens 17 Jahren Daten

vorhanden und ich konnte den Median dieser Angaben verwenden.

### 1.5. Statistik

Bei den Berechnungen setzte ich Jahrestagnummern ein (der 1. Januar entsprach Tag 1 des entsprechenden Jahres). Bei der Korrelationsanalyse der Schlüpfdaten der Bruten und der pflanzenphänologischen Daten verwendete ich den Median, für die Luft- und Wassertemperaturen den arithmetischen Durchschnittswert. Der statistischen Auswertung legte ich Rang-

**Tab. 1.** Anzahl und Schlüpfdatum (Median) der Erstbruten, Anteil an Zweitbruten und durchschnittliche Monatstemperatur (in °C) der Luft und des Wassers in den Monaten Januar, Februar und März der 21 Jahre von 1992 bis 2012. Die Korrelations-, Wahrscheinlichkeits- und Signifikanzangaben beziehen sich auf die Schlüpfdaten der Erstbruten und basieren auf Rangkorrelationen nach Spearman. – *Number and hatching date (median) of first broods, percentage of second broods and mean air and water temperature (°C) in January, February and March for the years 1992–2012.  $r_s$  = Spearman rank correlation coefficient between the median hatching date of of first broods per year and temperature of air and water in January, February and March;  $p$  = significance level.*

Jahr	Erstbruten		Anteil Zweitbruten in %	Mittlere Lufttemperatur			Mittlere Wassertemperatur		
	Anzahl	Schlüpfdatum		Januar	Februar	März	Januar	Februar	März
1992	25	11. April	39,0	-0,8	1,7	6,1	1,2	2,3	5,5
1993	33	9. April	40,0	3,5	-0,4	4,3	2,9	2,4	4,8
1994	30	29. März	33,3	2,5	2,1	9,1	3,8	3,3	8,4
1995	33	23. März	43,1	0,0	5,1	3,7	1,8	4,9	4,7
1996	38	18. April	32,1	-0,7	-0,9	2,9	2,5	1,4	3,8
1997	47	30. März	43,4	-1,9	4,3	7,6	1,1	3,4	7,7
1998	45	30. März	40,8	1,8	3,6	5,4	2,9	2,9	5,7
1999	42	11. April	23,6	2,0	-0,5	6,0	2,1	1,6	5,6
2000	36	24. März	37,9	-0,1	4,0	6,0	2,2	4,0	6,0
2001	45	7. April	31,8	1,5	3,4	6,7	2,8	3,6	6,3
2002	45	30. März	36,6	0,6	5,5	7,0	1,6	4,7	7,2
2003	47	10. April	27,7	0,0	-2,0	7,4	2,6	1,3	6,1
2004	45	8. April	42,3	0,9	2,1	4,4	2,6	2,8	4,8
2005	48	18. April	30,4	0,5	-1,1	5,6	1,9	1,2	4,6
2006	44	24. April	25,4	-2,2	0,0	3,1	1,1	1,8	3,4
2007	46	23. März	36,1	4,5	4,8	5,7	4,5	4,5	6,4
2008	40	30. März	41,2	3,1	3,9	4,7	2,8	3,3	5,3
2009	39	3. April	35,0	-1,9	0,4	4,2	0,9	2,0	4,6
2010	49	12. April	36,4	-1,9	0,9	4,6	1,4	2,3	4,8
2011	47	31. März	26,6	1,2	2,7	6,6	2,8	3,4	6,5
2012	52	11. April	20,0	2,0	-3,5	8,2	3,6	0,7	6,7
Mittelwert		7. April	34,7	0,7	1,7	5,7	2,3	2,8	5,7
Standardabw.		17,09 Tage		1,89	2,55	1,66	0,96	1,21	1,25
$r_s$			-0,534	-0,535	-0,825	-0,267	-0,294	-0,842	-0,534
$p$			<0,02	<0,02	<0,001	n.s.	n.s.	<0,001	<0,02
Signifikanz			*	*	***	n.s.	n.s.	***	*

korrelationen nach Spearman zugrunde (Stahel 1999, Sachs 2004). Als Signifikanzschwelle nahm ich einen Wert von  $p < 0,05$  an.

## 2. Ergebnisse

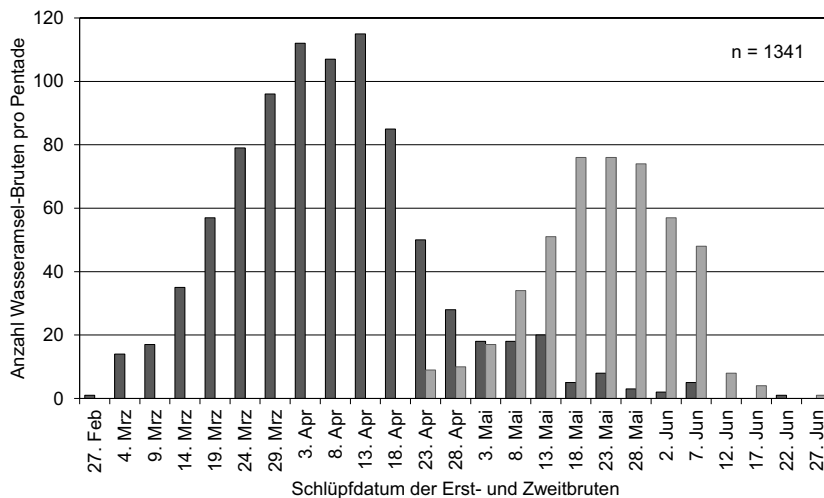
### 2.1. Brutdaten

Von 1992 bis 2012 beringte ich insgesamt 3848 Nestlinge aus 1341 Bruten, wovon 876 (65,3 %) Erst- oder Erst-Ersatzbruten und 465 (34,7 %) Zweitbruten waren. Die Wahrscheinlichkeit, nach einer erfolgreichen Erstbrut eine ebenfalls erfolgreiche Zweitbrut zu haben, beträgt somit 53,1 %. In diesen 21 Jahren schlüpfte die früheste Brut am 1. März 2007, gefolgt von gleich zwei Bruten am 2. März 1995 und einer Brut am 2. März 1997 (Jahrestagnummern 60 resp. 61, Abb. 1). Die späteste Erstbrut eines Paares schlüpfte am 24. Juni 1996 (Tag 176); dies war eigentlich eine zweite Ersatz-Erstbrut. Durchschnitt und Median der Erstbruten fielen auf den 7. April. Zweitbruten schlüpfen zwischen dem 21. Ap-

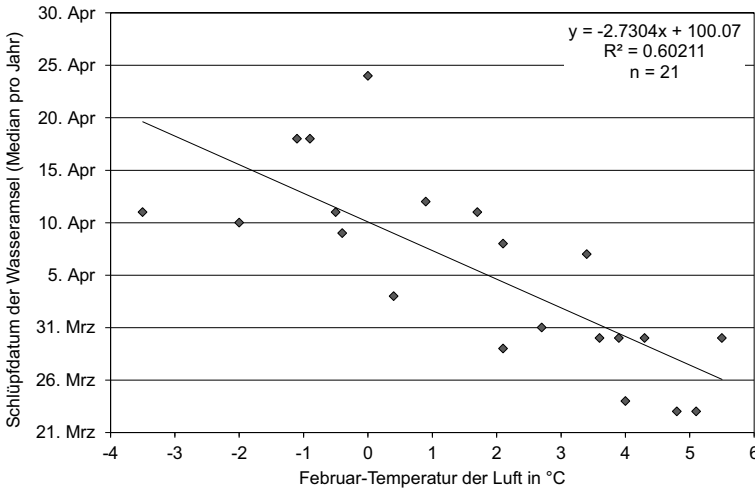
ril und dem 26. Juni, und ihr Mittelwert kam auf den 22. Mai, der Median auf den 23. Mai zu liegen.

### 2.2. Temperatur

Das Einsetzen der Brutaktivität und als Folge davon der Schlüpfzeit der Wasseramsel hängen direkt von der Lufttemperatur in den Monaten Januar bis März ab (Tab. 1, Abb. 2). Dieser Zusammenhang wird von den negativen Korrelationswerten  $r_s$  widerspiegelt: Sie betragen im Januar  $-0,535$ , im Februar  $-0,825$  und im März  $-0,267$ . Die Lufttemperatur im Februar korreliert hochsignifikant mit dem Schlüpfdatum der Erstbruten. Weniger stark ist der Zusammenhang mit der Januartemperatur, kaum vorhanden jener mit der Märztemperatur. Die Oberflächen-Wassertemperatur und damit auch die Temperatur wenig tiefer Fließgewässer wird von jener der Luft direkt und stark beeinflusst. Diese Wassertemperatur ist für eine aquatisch lebende Vogelart wie die Wasseramsel ausschlaggebend, und sie korre-



**Abb. 1.** Schlüpfdatum der erfolgreichen Erst- und Zweitbruten (dunkle bzw. helle Säulen) der Wasseramsel in den 21 Jahren von 1992 bis 2012. Ersatzbruten waren bis auf eine Ausnahme Ersatzbruten von Erstbrutversuchen und wurden den Erstbruten zugerechnet. Die Abszisse ist in Pentaden eingeteilt; angegeben ist das mittlere Datum der jeweiligen Pentade. – Hatching date of successful first and second broods (dark and light grey columns) of Dippers in the 21 seasons from 1992 to 2012. Up to one exception replacement broods replaced first broods and they were allocated to first broods. X-coordinate gives medium day of five-day periods.



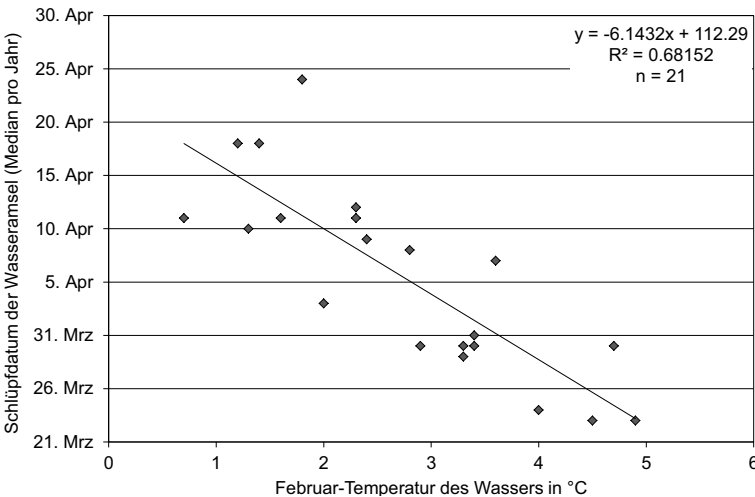
**Abb. 2.** Streudiagramm des Schlüpfdatums gegenüber der Lufttemperatur im Monat Februar des entsprechenden Jahres. Berücksichtigt sind die 21 Jahre von 1992 bis 2012; die Temperatur ist als Monatsmittel, das Schlüpfdatum als Median der entsprechenden Brutsaison angegeben. – Scatter plot of median hatching date of Dippers versus monthly mean air temperature in February from 1992 to 2012.

liert in der wichtigen Zeit hochsignifikant mit dem Schlüpfdatum: noch kaum im Januar ( $r_s = -0,294$ ), entscheidend und stark im Februar ( $r_s = -0,842$ ), und bereits wieder weniger im März ( $r_s = -0,534$ ; Tab. 1, Abb. 3).

**2.3. Pflanzenphänologie**

Das Datum der Vollblüte von vier früh blühenden Feldblumenarten korreliert positiv mit

dem Schlüpfdatum der Wasseramsel (Tab. 2): Diesbezüglich ähnlich sind sich Huflattich ( $r_s = 0,711$ ; Median 12. März; Abb. 4), Buschwindröschen ( $r_s = 0,659$ ; Median 24. März) und Wiesenschaumkraut ( $r_s = 0,664$ ; Median 13. April). Die Korrelation mit dem Löwenzahn ist bereits viel schwächer ( $r_s = 0,399$ ; Median 18. April). Der Beginn der Blüte des Kirschbaums korreliert mit dem Schlüpfdatum der Wasseramsel ( $r_s = 0,530$ ; Median 6. April). Bei den



**Abb. 3.** Streudiagramm des Schlüpfdatums gegenüber der Wassertemperatur im Monat Februar des entsprechenden Jahres. Berücksichtigt sind die 21 Jahre von 1992 bis 2012; die Temperatur ist als Monatsmittel, das Schlüpfdatum als Median der entsprechenden Brutsaison angegeben. – Scatter plot of median hatching date versus monthly mean water temperature in February from 1992 to 2012.

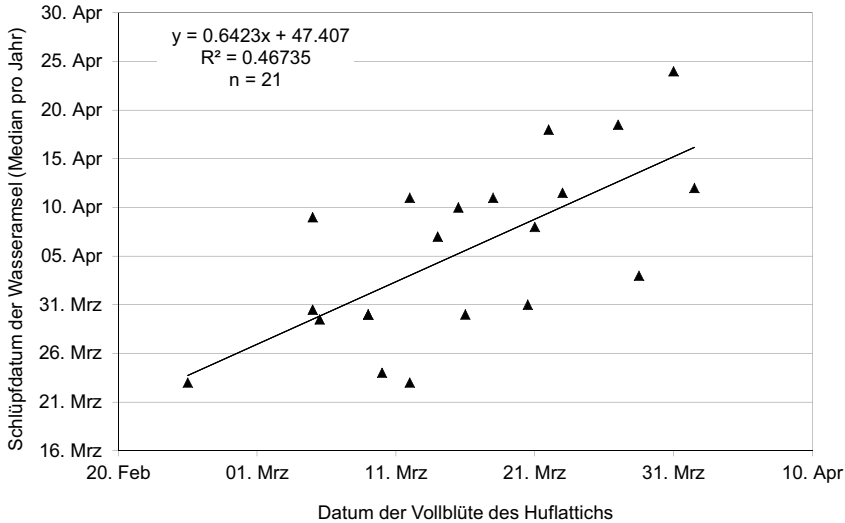
**Tab. 2.** Datum des Eintritts der Vollblüte von Huflattich, Buschwindröschen, Wiesenschaumkraut und Löwenzahn, Datum des Beginns der Blüte beim Kirschbaum sowie Datum der Blattentfaltung beim Haselstrauch, bei der Rosskastanie, Vogelbeere, Hängebirke und Buche. Angegeben sind die jährlichen Mediane von 1992 bis 2012. Die statistischen Angaben basieren auf Rangkorrelationen nach Spearman, wobei alle Parameter mit dem Schlüpfdatum der Erstbruten aus Tab. 1 verglichen werden. – *Date at onset of full flowering for Coltsfoot Tussilago farfara, Wood Anemone Anemone nemorosa, Cuckoo Flower Cardamine pratensis and Dandelion Taraxacum officinale; date at onset of flowering for Cherry tree Prunus avium; date at onset of foliation for Common Hazel Corylus avellana, Horse Chestnut Aesculus hippocastanum, European Rowan Sorbus aucuparia, Weeping Birch Betula pendula and Common Beech Fagus sylvatica. Median date for every year from 1992 to 2012 is indicated. Statistical treatment as mentioned in Table 1.  $r_s$  = Spearman rank correlation coefficient between medians of first broods hatching date per year (derived from Fig. 1) and the phytophenological onset date (median per year) of 10 plant species.  $p$  = significance level.*

Jahr	Datum des Eintritts der Vollblüte				Beginn der Blüte Kirschbaum	Allgemeine Blattentfaltung				
	Huflattich	Buschwindröschen	Wiesenschaumkraut	Löwenzahn		Haselstrauch	Rosskastanie	Vogelbeere	Hängebirke	Buche
1992	12.3.	1.4.	23.4.	23.4.		11.4.	21.4.			29.4.
1993	4.3.	28.3.	20.4.	20.4.		17.4.	15.4.			25.4.
1994	5.3.	10.3.	1.4.	15.4.		25.3.	23.3.			27.4.
1995	24.2.	24.3.	12.4.	16.4.		7.4.	14.4.			22.4.
1996	27.3.	10.4.	21.4.	23.4.	20.4.	22.4.	21.4.	24.4.	27.4.	28.4.
1997	8.3.	10.3.	2.4.	7.4.	28.3.	8.4.	3.4.	3.4.	15.4.	26.4.
1998	8.3.	30.3.	8.4.	14.4.	8.4.	20.4.	21.4.	16.4.	21.4.	30.4.
1999	22.3.	29.3.	20.4.	19.4.	6.4.	14.4.	21.4.	14.4.	30.4.	25.4.
2000	10.3.	16.3.	11.4.	21.4.	8.4.	20.4.	20.4.	19.4.	21.4.	26.4.
2001	13.3.	11.3.	18.4.	23.4.	4.4.	27.4.	13.4.	24.4.	30.4.	29.4.
2002	15.3.	16.3.	3.4.	15.4.	25.3.	11.4.	9.4.	5.4.	12.4.	27.4.
2003	14.3.	25.3.	14.4.	16.4.	9.4.	15.4.	13.4.	16.4.	21.4.	23.4.
2004	21.3.	5.4.	24.4.	24.4.	14.4.	18.4.	22.4.	17.4.	25.4.	28.4.
2005	21.3.	26.3.	20.4.	21.4.	7.4.	11.4.	14.4.	13.4.	26.4.	30.4.
2006	30.3.	12.4.	25.4.	4.5.	22.4.	24.4.	22.4.	25.4.	29.4.	30.4.
2007	11.3.	25.3.	15.4.	19.4.	6.4.	12.4.	12.4.	8.4.	14.4.	17.4.
2008	5.3.	7.3.	20.4.	27.4.	9.4.	25.4.	23.4.	21.4.	28.4.	28.4.
2009	27.3.	31.3.	11.4.	3.4.	10.4.	16.4.	13.4.	15.4.	17.4.	15.4.
2010	31.3.	3.4.	17.4.	18.4.	14.4.	14.4.	20.4.	21.4.	24.4.	29.4.
2011	19.3.	20.3.	6.4.	9.4.	1.4.	5.4.	7.4.	10.4.	10.4.	11.4.
2012	18.3.	25.3.	9.4.	11.4.	1.4.	2.4.	18.4.	13.4.	18.4.	29.4.
Frühestes Datum	7.2.	28.2.	17.3.	8.3.	22.3.	28.2.	11.3.	10.3.	26.3.	14.3.
Median	12.3.	24.3.	13.4.	18.4.	6.4.	13.4.	14.4.	14.4.	20.4.	26.4.
Spätestes Datum	16.4.	24.4.	12.5.	17.5.	21.4.	5.5.	2.5.	6.5.	10.5.	7.5.
St.abw. (Tage)	12,18	11,89	10,25	11,11	7,57	12,53	10,48	10,95	9,42	8,48
Anzahl Jahre	21	21	21	21	17	21	21	17	17	21
$r_s$	0,711	0,659	0,664	0,399	0,530	0,244	0,491	0,546	0,621	0,478
$p$	<0,001	<0,001	<0,001	<0,05	<0,02	n.s.	<0,02	<0,02	<0,005	<0,02
Signifikanz	***	***	***	*	*	n.s.	*	*	**	*

ausgewerteten Strauch- und Baumarten korreliert das Datum der allgemeinen Blattentfaltung bei der Rosskastanie, der Vogelbeere, der Hängebirke und der Buche. Keine signifikante Übereinstimmung ergab sich einzig beim Haselstrauch.

#### 2.4. Zweitbruten

Der Anteil an Zweitbruten variiert erheblich zwischen den Jahren (Tab. 1). In den zwei Jahren mit dem frühesten Schlüpf-Median (23. März) registrierte ich 43,1 % resp. 36,1 %



**Abb. 4.** Streudiagramm des Schlüpfdatums der Erstbruten gegenüber dem Datum der Vollblüte des Hufattichs in den 21 Saisons von 1992 bis 2012 (Mediane). Die positive Korrelation macht die ähnliche Abhängigkeit der beiden biologischen Parameter Brutzeit und Blütezeit deutlich. – *Date of full flowering onset of Cuckoo Flower versus mean first brood hatching date from 1992 to 2012 (medians). The positive correlation indicates a similar reaction of the two biological parameters to temperature.*

Zweitbruten; umgekehrt in den zwei spätesten Jahren 1996 resp. 2006 (Schlüpf-Median 18. resp. 24. April; Tab. 1) nur 32,1 % resp. 25,4 % Zweitbruten. Der Anteil an Zweitbruten korreliert signifikant negativ mit dem Schlüpfdatum der Erstbruten; in Jahren mit frühem erstem Brutbeginn finden mehr Zweitbruten statt als in solchen mit spätem Beginn (Abb. 5).

### 3. Diskussion

Die Resultate einer früheren und weniger langfristig angelegten Arbeit (Hegelbach 2001) werden hier über einen längeren Zeitraum bestätigt und die Aussage wird ausgebaut. Der Brutbeginn der Wasseramsel variiert von Jahr zu Jahr um bis zu einem Monat. Er ist abhängig von der Luft- und der Wassertemperatur. Innerhalb eines frühjährlichen «Vegetations-Zeitfensters» zeigt sich bei vielen Blütenpflanzen und Laubbäumen eine parallel verlaufende Entwicklung bezüglich des Beginns der Blüte oder des Austriebs und der Entfaltung der

Laubblätter. In Jahren mit früher Vegetationsentwicklung beginnt auch die Brutsaison der Wasseramsel früh. Während alle Blütenbezogenen Parameter eine signifikante Übereinstimmung mit dem Brutbeginn der Wasseramsel zeigen, korreliert die Blattentfaltung nur bei vier von fünf Strauch- und Baumarten. Eventuell reagiert die Entwicklung der Blüten rascher auf Temperaturunterschiede als die länger dauernde Entfaltung der robusteren Blätter. Hinzu kommt, dass sich die untersuchten Busch- und Baumarten jahreszeitlich später entwickeln und dass sie aus diesem Grund ihre Relevanz zum Brutbeginn der Wasseramsel verlieren.

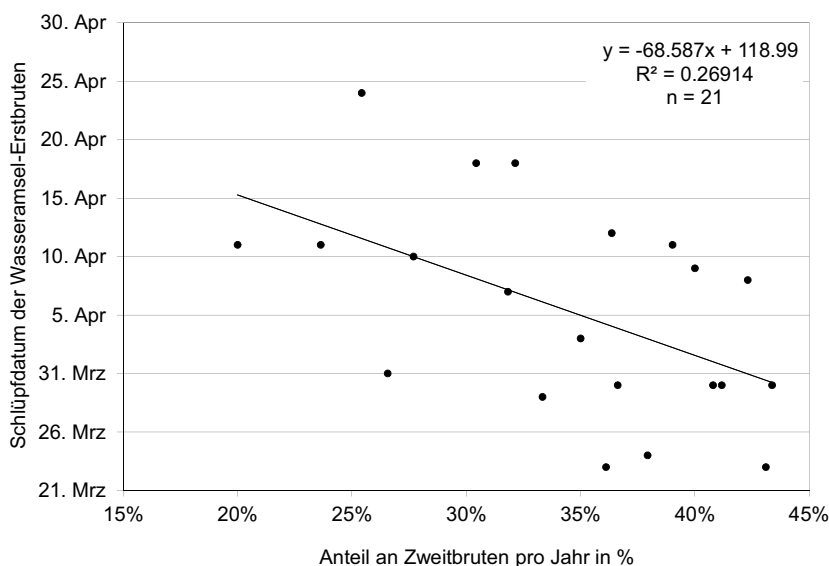
Sicher ist die vom Wettergeschehen diktierte Lufttemperatur die Grundlage und der Auslöser der sich daraus ergebenden, allerdings wesentlich besser gepufferten Wassertemperatur. Kurzfristige Ausschläge der Lufttemperatur werden vom diesbezüglich trägeren Wasser dank seiner hohen Wärmekapazität absorbiert. Die Wassertemperatur wiederum gilt als wichtiger Regulator der Lebensvorgänge im Wasser. Dazu gehört auch die Entwicklung des Nah-



rungsangebots an wasserlebenden Krebsartigen (Crustaceae) und Insektenlarven, insbesondere von Köcherfliegen (Trichoptera), Eintagsfliegen (Ephemeroptera) und Steinfliegen (Plecoptera). Viele dieser Arten reagieren auf erhöhte Temperatur mit einem beschleunigten Lebenszyklus (u.a. Sweeney 1984, Pockl 1992). Diese Situation ist für die Wasseramsel gleichbedeutend mit einem grösseren und besseren Nahrungsangebot. Letztlich ist wohl die Verfügbarkeit der Nahrung der externe Auslöser für den Brutbeginn der Wasseramsel. Die Lage dieses Datums entscheidet in der Folge darüber, ob Zweitbruten stattfinden können oder nicht. Der Grund hierfür liegt im limitierten Zeitfenster für die Brutaktivität: Im Vorfrühling bestimmen Luft- und Wassertemperatur und die damit zusammenhängende Verfügbarkeit der Nahrung den Brutbeginn, aber bereits im Juni verknappt dieses Nahrungsangebot wieder (Jost 1962). Ebenfalls im Sommer folgt die Mauser, wobei die Schwungfedern der Altvögel in drei deutli-

chen und abrupt eingeleiteten Schüben ersetzt werden (Galbraith 1981, Hegelbach 2002). Während dieser Wachstumsphase ist das Flugvermögen, aber auch die Beweglichkeit unter Wasser für mehrere Wochen stark reduziert, was eine zusätzliche Belastung durch Aufzucht-Aktivitäten verunmöglicht. Bei späten Erstbruten verhindert somit das knappe Zeitfenster bis zum Mauserbeginn einen zweiten Brutzyklus.

In den tieferen Lagen des schweizerischen Mittellandes profitiert die Wasseramsel von der erhöhten Temperatur der Fliessgewässer. Die zum Brüten nutzbare Saison ist dank dem frühen Beginn recht lang und lässt Ersatzbruten und meistens auch Zweitbruten zu. In höheren Lagen (in den Pyrenäen und Alpen über 1000 m ü.M.; Breitenmoser-Würsten 1988, Glutz von Blotzheim & Bauer 1988) und auch im Norden, z.B. im skandinavischen Verbreitungsgebiet (in Norwegen; Øigarden & Linløkken 2010) beginnt die Brutaktivität eindeu-



**Abb. 5.** Schlüpfdatum der Erstbruten von 1992 bis 2012 verglichen mit dem Anteil an Zweitbruten des entsprechenden Jahres (Medianwerte). Die negative Korrelation beschreibt die Zunahme des Anteils an Zweitbruten bei früherem Einsetzen der Brutaktivität. Die Extreme verlaufen von lediglich 20,0 % Zweitbruten im Jahr 2012 (Median der Schlüpfage am 11. April) bis zu 43,4 % Zweitbruten im Jahr 1997 (Median der Schlüpfage am 30. März). – *Hatching date of first broods (medians) versus percentage of second broods per year from 1992 to 2012. The causal relationship of early first broods and higher numbers of second broods is shown by the negative correlation. The minimum percentage of second broods was 20,0 % in 2012 (median hatching day 11 April), in comparison to a maximum of 43,4 % in 1997 (median hatching day 30 March).*



**Abb. 6.** Typischer Neststandort der Wasseramsel mit 11 Tage alten Nestlingen. Sihl, 6. Juni 2008. Aufnahme J. Hegelbach. – *Typical nest site of Dippers with eleven-day old nestlings.*

tig später. Aus zeitlichen Gründen sind dort Zweitbruten seltener oder gar nicht möglich, auch wenn die Brutsaison bis in den Juli hinein andauern kann. Bereits Zang (1981) und Marti & Breitenmoser-Würsten (1990) haben die Abhängigkeit des Brutbeginns der Wasseramsel von der Meereshöhe quantifiziert. Im Harz (Brutplätze von 190 bis 790 m ü.M.) errechnete Zang eine Brutzeitverzögerung von knapp 6 Tagen pro 100 Höhenmeter, und nur 11,8 % aller Bruten waren Zweitbruten. Im Saanenland (Berner Oberland, Brutplätze von 980 bis 1660 m ü.M.) verzögerte sich die Brutphase pro 100 Höhenmeter um annähernd 19 (15–23) Tage, und dementsprechend selten waren auch in dieser Region Zweitbruten (Anteil 14,5 %; total 24 Zweit- gegenüber 141 Erstbruten; Breitenmoser-Würsten 1988). Der Einfluss der Meereshöhe zeigte sich deutlich, indem Zweit-

bruten überhaupt nur unterhalb von 1300 m ü.M. vorkamen. Unser Zürcher Untersuchungsgebiet liegt zwar etwa auf dem gleichen Breitengrad, aber mit einer Verteilung der Brutplätze von 410 bis 680 m ü.M. wesentlich tiefer als die Population im Berner Oberland. Der hohe Zweitbrutanteil von durchschnittlich 34,7 % lässt sich mit der Höhenlage erklären.

Die Lufttemperatur übt durch die sogenannte Nettostrahlung den entscheidenden Einfluss auf die Wassertemperatur der Fließgewässer aus. Kontinuierliche Messreihen des Bundesamtes für Wasser und Geologie belegen die Temperaturzunahme in den letzten Jahrzehnten. An 20 schweizerischen Stationen stieg die Wassertemperatur zwischen 1970 und 2000 im Mittel um 0,45 °C (Bundesamt für Umwelt 2012). In den inneralpinen, von Schnee- und Eisschmelze beeinflussten Gewässern war

der Anstieg moderat (geringster Anstieg von 0,12 °C in der Linth bei Mollis, Kanton Glarus), wogegen sich die Mittellandflüsse in diesen 30 Jahren markant erwärmten (maximaler Anstieg von 1,03 °C in der Birs bei Münchenstein, Kanton Basel-Landschaft; Pfammatter 2004). Im Rhein auf der Höhe von Basel ist die Temperatur seit 1960 sogar um mehr als 2 °C angestiegen, im Mittelrhein und in der Donau beträgt der Anstieg rund 3 °C (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland 2009, Jakob et al. 2010). Diese Unterschiede sind nur zu einem kleinen Teil mit der Höhenlage erklärbar. Wesentlich hingegen ist die Wärmebelastung der Gewässer durch Kühlwasser aus Stromgewinnungsanlagen, Oberflächenwasser aus Siedlungen und Ableitungen aus Kläranlagen. Kleinräumig und vor allem im Winter kann beispielsweise Vorfluter-Wasser aus Kläranlagen über 5 °C wärmer sein als unbelastetes (Hegelbach 2009). Eine grundsätzliche und nachhaltige Verminderung der Wärmebelastung der Gewässer ist momentan nicht in Sicht. Erweiterte Kläranlagen mit einem verlangsamten Durchlauf können nur lokal zu einer gewissen Entlastung führen. Zudem verstärken viele Revitalisierungen die Erwärmung: Verbreiterte Gerinne und verlangsamte Wasserführung ermöglichen stärkere Nettostrahlung und haben eine höhere Wassertemperatur zur Folge. Diese Wirkung liesse sich zu einem Teil mit massiver Uferbestockung eindämmen.

Verhältnismässig wenig ist bekannt über den schädlichen Einfluss einer andauernd zu hohen Wassertemperatur auf die Benthosfauna, d.h. auf die Beutetiere der Wasseramsel. Verneaux (1977) schätzt die thermische Wirkung auf die Artenzusammensetzung und Ökologie der Fliessgewässer gleich hoch ein wie den Einfluss der übrigen Belastung durch Schadstoffe. Die anspruchsvollen Arten und damit die von der Wasseramsel begehrten Nahrungstiere (vor allem die Larven der Steinfliegen, aber auch jene vieler Köcherfliegen) bevorzugen sauerstoffreiche Bäche und allein schon wegen des Sauerstoffbindungsvermögens kälteres Wasser. Dasselbe gilt auch für andere Benthosräuber wie die Bachforelle *Salmo fario*. In der Schweiz hat die bisherige Erwärmung bereits zu einem Rückzug der Bachforelle in 100–

200 m höhere Regionen geführt (Hari et al. 2006, Burkhardt-Holm 2009). Verglichen mit der Bachforelle ist allerdings die Wasseramsel nahrungsökologisch ein sehr viel anpassungsfähigeres Lebewesen, und bei ihrem Bestand, ihrer Verbreitung oder Dichte sind zurzeit (noch) keine negativen Folgen durch die Erwärmung ihres Lebensraums erkennbar.

**Dank.** Mein Dank gilt den vielen Interessierten, die dieses langjährige Projekt unterstützt haben. Insbesondere haben Philipp Becker, Stefan Fäs, Bruno Koch, Sebastian Meyer, Luzian Reinhardt, Walter Rey, Christine Schoop und Silvio Stucki tatkräftig und zuverlässig mitgewirkt. Ihnen allen gilt mein Dank für ihren oft mühevollen und zeitraubenden Einsatz.

### Zusammenfassung

Die Daten zur Brutbiologie der Wasseramsel wurden in den 21 Jahren von 1992 bis 2012 gesammelt. Das Untersuchungsgebiet liegt am unteren Becken des Zürichsees und besteht aus 22 km Flussstrecke an der Sihl sowie dem 7 km langen Küssnachter Bach und dem 6 km langen Wehrenbach. Die Oberläufe dieser Gewässer liegen auf rund 550 m ü.M., der Zürichsee liegt bei 406 m ü.M. An der Sihl kamen rund 27 Brutpaare (BP), am Küssnachter Bach 13 BP und am Wehrenbach 7 BP vor. Die ansässigen Vögel waren durchgehend farbig beringt und wurden über das ganze Jahr beobachtet. Besonders geachtet wurde auf das Brutgeschehen, und im Untersuchungszeitraum wurden gesamthaft 3848 Nestlinge aus 1341 Bruten beringt. Davon waren 876 (65,3 %) Erstbruten und 465 (34,7 %) Zweitbruten. Für diese Auswertung wurde ausschliesslich das Schlüpfdatum der 876 erfolgreichen Erstbruten herangezogen. Dabei konnten diese Daten mit jenen der Luft- und Wassertemperatur der Monate Januar, Februar und März verglichen werden. An pflanzenphänologischen Daten standen das jährliche Datum des Beginns der Vollblüte von Huflattich, Buschwindröschen, Wiesenschaumkraut und Löwenzahn sowie jenes des Blütenbeginns beim Kirschbaum zur Verfügung, ausserdem der Tag der Blattentfaltung von Haselstrauch, Rosskastanie, Vogelbeere, Hängebirke und Buche (Datenserien von MeteoSchweiz). Eine signifikante Korrelation mit dem Schlüpfdatum der Wasseramsel ergab sich im jeweiligen Jahr für die Lufttemperatur im Februar, weniger im Januar und kaum im März. Noch stärker korrelierte die Wassertemperatur im Februar, weniger im März und kaum jene des Januar. Eine starke Korrelation bestand auch mit dem Datum der Vollblüte des Wiesenschaumkrauts, des Huflattichs und des Buschwindröschens, am wenigsten mit jenem des Löwenzahns. Ebenfalls signifikante Korrelationen ergaben das Datum der Kirschbaumblüte sowie

das Datum der Blattentfaltung der Rosskastanie, der Vogelbeere, der Hängebirke und der Buche. Einzig der Haselstrauch zeigte nur eine tendenzielle Übereinstimmung. Grundsätzlich determiniert die Luft- und Wassertemperatur des Februars die zeitliche Lage der Brutsaison der Wasseramsel. Die Blütezeit und Entwicklungsphase der genannten Pflanzenarten manifestiert sich dazu zeitlich parallel. Der Anteil erfolgreicher Zweitbruten der Wasseramsel variiert von Jahr zu Jahr beträchtlich von minimal 20,0 bis maximal 43,4 %; bei frühem Datum der Erstbruten werden signifikant mehr Zweitbruten gezeitigt als bei spätem erstem Brutbeginn.

### Literatur

- BOTH, C. & L. TE MARVELDE (2007): Climate change and timing of avian breeding and migration throughout Europe. *Clim. Res.* 35: 93–105.
- BREITENMOSER-WÜRSTEN, C. (1988): Zur Brutbiologie der Wasseramsel im Saanenland (Berner Oberland, Schweizer Nordalpen). *Ökol. Vögel* 10: 119–150.
- Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) (2009): Wärmelast Rhein. BUND Rheinland-Pfalz, Mainz.
- Bundesamt für Umwelt (Hrsg.) (2012): Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer. BAFU, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1217.
- BURKHARDT-HOLM, P. (2009): Klimawandel und Bachforellenrückgang – gibt es einen Zusammenhang? Resultate aus der Schweiz. *Umweltwiss. Schadst. Forsch.* 21: 177–185.
- BURTON, J. (1995): *Birds and climate change*. Helm, London.
- CRICK, H. & T. SPARKS (1999): Climate change related to egg-laying trends. *Nature* 399: 423–424.
- DESSLER, A. & E. PARSON (2011): *The science and politics of global climate change*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- GALBRAITH, H., A. MITCHELL & G. SHAW (1981): The moult of the Dipper in Central Scotland. *Bird Study* 28: 53–59.
- GLUTZ VON BLOTZHEIM, U. N. & K. M. BAUER (1988): *Handbuch der Vögel Mitteleuropas*. Bd. 10, Passeriformes (I. Teil). Aula, Wiesbaden.
- HARI, R. E., D. M. LIVINGSTONE, R. SIBER, P. BURKHARDT-HOLM & H. GÜTTINGER (2006): Consequences of climatic change for water temperature and brown trout populations in Alpine rivers and streams. *Global Change Biol.* 12: 10–26.
- HEGELBACH, J. (2001): Wassertemperatur und Blütenphänologie als Anzeiger des früheren Brutbeginns der Wasseramsel im schweizerischen Mittelland. *J. Ornithol.* 142: 284–294.
- HEGELBACH, J. (2002): Die Mauser der Wasseramsel – das Singvogel-Schema modifiziert. *J. Ornithol.* 143: 230.
- HEGELBACH, J. (2009): Einfluss der Wassertemperatur auf das Überwintern der Wasseramsel am Küssnachter Bach (Kanton Zürich). *Ornithol. Beob.* 106: 429–434.
- JAKOB, A., E. BINDERHEIM, M. SCHÄDLER & F. PFAMMATTER (2010): Temperaturen in Schweizer Fließgewässern – Langzeitbeobachtung. *Gas-Wasser-Abwasser* 3: 221–231.
- JOST, O. (1975): Zur Ökologie der Wasseramsel mit besonderer Berücksichtigung ihrer Ernährung. *Bonner zool. Monogr.* 6: 1–183..
- LEHIKONEN, E. & T. SPARKS (2010): Changes in migration. S. 89–112 in: A. P. MÖLLER, W. FIEDLER & P. BERTHOLD (eds): *Effects of climate change on birds*. Oxford Univ. Press, Oxford.
- MARTI, C. & C. BREITENMOSER-WÜRSTEN (1990): Brutbiologie der Bergstelze *Motacilla cinerea* im Saanenland im Vergleich zu jener der Wasseramsel *Cinclus cinclus*. *Ornithol. Beob.* 87: 13–29.
- MÖLLER, A. P., W. FIEDLER & P. BERTHOLD (2010): *Effects of climate change on birds*. Oxford Univ. Press, Oxford.
- ØIGARDEN, T. & A. LINLØKKEN (2010): Is the breeding success of the White-throated Dipper *Cinclus cinclus* in Hedmark, Norway influenced by acid rain? *Ornis Norvegica* 33: 118–129.
- PFAMMATTER, F. (2004): *Untersuchung zur Wassertemperatur in schweizerischen Fließgewässern*. Dipl.arb. Univ. Bern.
- POCKL, M. (1992): Effects of temperature, age and body size on moulting and growth in the freshwater amphipods *Gammarus fossarum* and *G. roeselii*. *Freshwater Biol.* 27: 211–225.
- SACHS, L. (2004): *Angewandte Statistik*. Springer, Berlin.
- SCHOOP, C. (1997): *Abhängigkeit brutbiologischer Parameter vom Alter bei der Wasseramsel*. Dipl. arb. ETH Zürich, *Angewandte Entomologie*.
- STAHEL, W. (1999): *Statistische Datenanalyse*. Vieweg, Braunschweig.
- SWEENEY, B. (1984): Factors influencing life-history patterns of aquatic insects. S. 56–100 in: V. RESH & D. ROSENBERG (eds): *The ecology of aquatic insects*. Praeger, New York.
- VERNEAUX, J. (1977): Biotypologie de l'écosystème «eau courante». Détermination approchée de l'appartenance typologique d'un peuplement ichthyologique. *Compte Rendu Acad. Sci. Paris* 284: 675–678.
- ZANG, H. (1981): Zur Brutbiologie und Höhenverbreitung der Wasseramsel im Harz. *J. Ornithol.* 122: 153–162.

Manuskript eingegangen 15. Dezember 2012

Bereinigte Fassung angenommen 10. September 2013