

**Untersuchungen zu den Auswirkungen
der Gewässerversauerung auf die Ei- und Larvalstadien von
Rana temporaria LINNAEUS, 1758
(Anura: Ranidae)**

MICHAEL LINNENBACH & HARALD GEBHARDT

Mit 2 Abbildungen

Abstract

The ongoing acidification of water courses has both direct and indirect effects (e.g. accumulation of sulfate and nitrate ions and mobilisation of metals from the sediment correlated with low pH; alternations in the species spectrum). Recent observations indicate that acidification may damage amphibian eggs and amphibian populations. The present report, based on laboratory and field data, establishes that acid water has harmful effects, particularly on *Rana temporaria*.

Key words: Acid precipitation; eggs; larvae; development; *Rana temporaria*.

Einleitung

Die stetig fortschreitende Versauerung von Oberflächengewässern, speziell in Mittelgebirgslagen mit karbonatarmem Untergrund, beruht auf direkten und indirekten Ursachen, wie pH-Veränderungen nach Schneeschmelze oder Starkregen, Eintrag von Sulfat- und Nitrationen, Mobilisation von Metallen aus dem Sediment, und ist mit Veränderungen des Artenspektrums verbunden (Literaturübersicht: LEHNHART & STEINBERG 1984). In diesem Zusammenhang sind bislang auch vereinzelt Einflüsse auf einheimische Amphibien beobachtet worden (ARNOLD 1983, CLAUSNITZER 1979, FELDMANN 1980). Umfassende Erkenntnis zu dieser immer mehr an Bedeutung gewinnenden Problematik fehlen jedoch. Da sich in letzter Zeit Berichte und Beobachtungen häufen, die auf einen Zusammenhang zwischen Gewässerversauerung und Schädigungen an Amphibien hinweisen, erschien es notwendig, diese Phänomene eingehender zu untersuchen. Dazu haben wir sowohl Daten aus dem Labor als auch Befunde aus dem Freiland berücksichtigt. Als Resultate zeigen sich insbesondere bei den Entwicklungsstadien von *Rana temporaria* eindeutige Interdependenzen zwischen Schädigungsrate und erniedrigtem pH-Wert.

Material und Methoden

Die pH-Sensibilität von Grasfroschlarven wurde in kleinen Versuchsaquarien (2,5 l) getestet, in denen das Wasser unter Zugabe von Schwefelsäure (H_2SO_4 p.A.) auf Werte zwischen pH 3 und pH 7 eingestellt wurde. Die wichtigsten wasserchemischen Parameter des Ausgangswasser betragen:

Leitfähigkeit	478 μ/cm
Gesamthärte	15,3 dH
Carbonathärte	12,5 KH
Sulfat	44,2 mg/l
Chlorid	10,7 mg/l
Ammonium	nicht nachweisbar
Nitrit	nicht nachweisbar
Nitrat	nicht nachweisbar

Über die gesamte Versuchsdauer erfolgte dreimal täglich eine Kontrolle der pH-Werte (die gegebenenfalls neu eingestellt wurden) sowie eine Überprüfung der Vitalität der Versuchstiere. Um eine Beeinflussung des angesäuerten Wassers durch Exkremate auszuschließen, fand alle 48 h ein Wasserwechsel statt. Auf eine Fütterung der Larven wurde verzichtet. Die Wassertemperatur während der Versuchsdurchführung lag bei 20-22°C. Für jede pH-Stufe wurden jeweils 3 Ansätze mit je 10 Individuen einer Art getestet.



Abb. 1. Typisches Schadbild eines durch Säureeinfluß abgestorbenen Laichballens von *Rana temporaria*. Um die Eizellen zeigen sich weißlich-trübe Ringe.

Typical appearance of *Rana temporaria* spawn killed by acid water. The ova are surrounded by whitish-opaque rings.

Die Untersuchung des Laichs erfolgte unter Verwendung von 2 Tage alten Ballen (etwa 200 Eier pro Versuchsgefäß). Zur Ermittlung der Schädigungsrate wurden die geschädigten Eier (Schadbild: weißlich-trübe Verfärbung der Eihülle, s. Abb. 1) ausgezählt. Um den Einfluß unterschiedlicher Einwirkungszeiten zu dokumentieren, erfolgte die Angabe der Schädigung der Larven nach 12, 24, 72 und 120 h, die des Laichs nach 24, 72 und 120 h (vgl. Abb. 2a, b).

Die Freilanddaten konnten durch Exposition (aktives Monitoring) von Ei- und Larvalstadien in schwimmenden Kunststoffkästen gewonnen werden. Dabei wurden die gleichen Versuchslängen wie im Labor gewählt. Begleitend dazu erfolgte die Protokollierung der abiotischen Faktoren. Weitere Daten ergaben sich durch die Untersuchung zahlreicher Laichbiotope (passives Monitoring) in unterschiedlichen geographischen Regionen (Schwarzwald, Odenwald, Hunsrück und Taunus).

Ergebnisse

Eine Abnahme des pH-Wertes in den natürlichen Fortpflanzungsgewässern (Gewässerparameter s. Tab. 1a) auf 4,2 hatte für den Grasfroschlaich nahezu letale Konsequenzen (Abb. 1). Lediglich im Zentrum der Laichballen überlebten gelegentlich wenige Embryonen. Bereits bei pH 4,5 ergab sich eine 70 bis 80%ige Schädigung. Erstschäden waren bereits ab pH 4,7 feststellbar, wobei zuerst die peripheren Bereiche der Ballen erfaßt wurden. Generell reagierte jüngerer Laich erheblich sensibler auf saure Milieuverhältnisse als älterer.

a) Schäden am Laich: Damages of spawn:		b) Aktives Monitoring (Larven): Active monitoring (tadpoles):
WT :	7,2– 14,2	9,2–15,5
pH :	4,2– 4,7	3,8– 4,2
LF :	30 –132	31 –55
GH :	0,2– 1,6	0,3– 0,4
KH :	< 0,1	< 0,1
NO ₃ :	4,0– 12	3,5– 3,9
SO ₄ :	8 – 34	9 –10
O ₂ :	9,5– 12,5	8,0–10,5

Tab. 1 a+b. Gewässerdaten aus dem Freiland (*R. temporaria*).

Water chemistry data from the field.

Abkürzungen/Abbreviations:

WT = Wassertemperatur/Water temperature (°C); LF = Leitfähigkeit/Conductivity (µS); GH = Gesamthärte/Total hardness (dH); KH = Karbonathärte/Carbonate hardness (KH); NO₃ = Nitrat/Nitrate (mg/l); SO₄ = Sulfat/Sulfate (mg/l); O₂ = Sauerstoff/Oxygen (mg/l)

Die Laborversuche mit Grasfroschlaich hingegen bewirkten eine Verlustrate von 75–100% erst ab pH 4,0 (nach 120 h). Eine deutliche Verminderung der Mortalität stellte sich ab pH 5,0 ein. Die Ausfälle im Kontrollansatz (Abb. 2a) sind möglicherweise auf Transportbeschädigungen zurückzuführen.

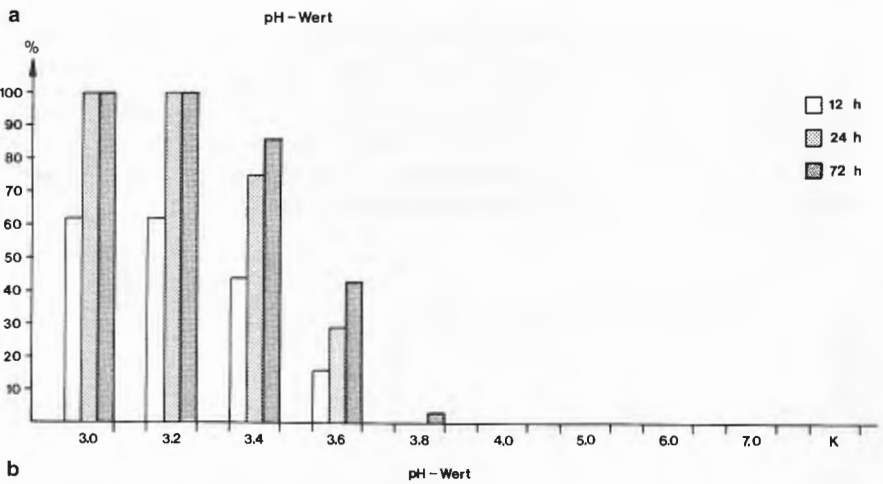
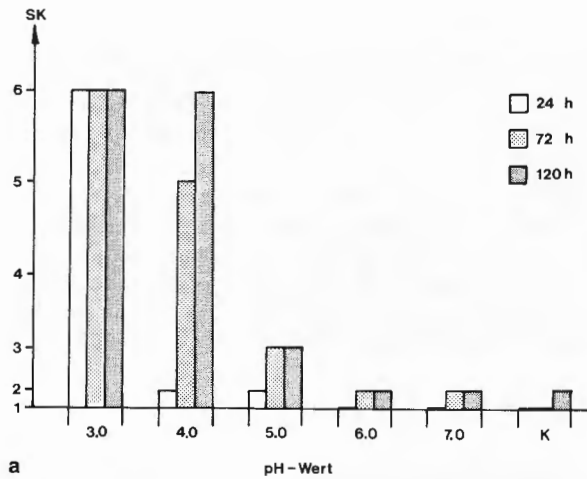


Abb. 2a. *Rana temporaria*. Schädigung des Laichs in Abhängigkeit vom pH-Wert (nach 24, 72 u. 120 h).

Angaben in Schädigungsklassen (SK):

- | | |
|--------------|---------------|
| 1 = 0% | 4 = 25 - 50% |
| 2 = 0 - 10% | 5 = 50 - 75% |
| 3 = 10 - 25% | 6 = 75 - 100% |

Rana temporaria. Relationship between pH-value and damage of spawn (after 12, 24 and 120 h).

SK = Damage categories (in %).

Abb. 2b. *R. temporaria*. Mortalität der Larven (%) in Abhängigkeit zum pH-Wert (nach 12, 24 u. 72 h).

K = Kontrolle.

Mortality of tadpoles (%) in dependence to the pH-value (after 12, 24 and 72 h).

K = Control group.

Im Labor fand eine letale Schädigung von Grasfroschlarven hauptsächlich im pH-Bereich zwischen 3,0 und 3,6 statt. Hierbei trat ein deutlicher Anstieg der Mortalität zwischen 12 und 24 h auf (Abb. 2b). Bereits ab pH 3,8 ließen sich keine erkennbaren negativen Auswirkungen mehr nachweisen. In versauerungsgefährdeten Laichgewässern waren Grasfroschlarven im Bereich von pH 4,2 nur noch in Einzelfällen anzutreffen. Nach unseren Erhebungen handelte es sich hierbei um einen geringen Prozentsatz (max. 1-2%) geschlüpfter Kaulquappen aus schwer geschädigten Laichballen. Im Rahmen des aktiven Monitorings durchgeführte Pilotversuche zeigten, daß bei pH-Werten von 3,8 bis 4,1 (weitere Gewässerparameter s. Tab. 1b) zwar keine Mortalität auftrat, die Froschlarven dafür aber schwere subletale Beeinträchtigungen erfahren hatten. Diese äußerten sich in Hautläsionen sowie in starken Störungen der Lokomotion (Taumeln, Rückenschwimmen). Die Rückführung in bessere Milieubedingungen (pH 7) bewirkte eine Reversibilität dieser Effekte innerhalb von 24 h.

Diskussion

Saures Milieu bewirkt grundsätzlich negative Einflüsse gegenüber den Ei- und Larvalstadien von Amphibien und kann nach CLARK & LAZERTE (1985) die Überlebensrate dieser Entwicklungsstadien signifikant reduzieren. So werden der Quellungsprozeß der Gelatinekapseln beeinträchtigt (DUNSON & CONNELL 1982), die Vitellinschicht verändert (PIERCE 1985, DUNSON & CONNELL 1982) sowie die Produktion der Schlupfenzyme, der embryonalen Bewegungsfähigkeit und allgemeinen Ionenregulation inhibiert (CAROLL & HEDRICK 1974, FREDa & DUNSON 1984, 1985). Darüber hinaus rufen weitere Effekte, wie zum Beispiel eine gesteigerte Mobilisation von Elementen aus dem Sediment (vor allem Metalle) und ein erhöhter NO_3^- und SO_4^- -Gehalt in versauerten Gewässern, einen massiven physiologischen Streß bei allen aquatischen Organismen hervor. So sind Al, Zn, Cd und Cu in ihrer Wirkung auf die Entwicklungsstadien von Amphibien toxisch. Dies gilt im besonderen Maße für das Aluminium (BIRGE 1978, CLARK & HALL 1985, CLARK & LAZERTE 1985, CUMMINS 1986). Für die Freilandsituation bedeutet dies, daß sich nicht nur für früh ablaichende Amphibienarten (Grasfrosch, Erdkröte), sondern auch für später ablaichende Spezies Gefahren abzeichnen. Bedingt durch starke Säureschwankungen und einhergehende Begleiteffekte in den Laichgewässern können sich innerhalb der Amphibienpopulationen erhebliche Verluste bemerkbar machen. Bereits heute zeichnen sich in Regionen mit verwitterungsresistenten, quarzhaltigen und kalkarmen Ausgangsgesteinen lokal begrenzte regressive Bestandsentwicklungen bei Grasfröschen ab.

Dank

Die Untersuchungen sind Teil eines vom Umweltbundesamt finanzierten Forschungsvorhabens (Projekt-Nr.: 102 04 348/02).

Zusammenfassung

Der Bericht befaßt sich mit den Auswirkungen versauerten Wassers auf die Entwicklungsstadien von *Rana temporaria*. Dazu werden Befunde aus Labor und Freiland mitgeteilt. Die im Freiland erhobenen Daten belegen eine pH-Empfindlichkeit des Laichs ab pH kleiner 4,7, die der Larven ab pH 4,0. Die entsprechenden Laborbefunde zeigen sowohl beim Laich als auch bei den Larven eine geringere Empfindlichkeit gegenüber tiefen pH-Bereichen. Dies bestätigt die Annahme, daß im Freiland weitere schädigende Einflüsse (zum Beispiel: Metallmobilisation aus dem Sediment, — insbesondere die des Aluminiums) hinzutreten.

Schriften

- ARNOLD, A. (1983): Zur Veränderung des pH-Wertes der Laichgewässer einheimischer Amphibien. — Arch. Naturschutz Landschaftsforsch., Berlin, **23**: 35-40.
- BIRGE, W.J. (1978): Aquatic toxicology of trace elements of coal and fly ash. — In: THORP, J.H. & GIBBONS, J.W. (eds.): Energy and environmental stress in aquatic systems: 218-240. — Department of Energy, Ottawa.
- CARROLL, E.J. & J.L. HEDRICK (1974): Hatching in the toad *Xenopus laevis*. Morphological events and evidence for a hatching enzyme. — Devl Biol., New York, **38**: 1-13.
- CLARK, K.L. & B.D. LAZERTE (1985): A laboratory study of the effects of aluminium and pH on amphibian eggs and tadpoles. — Can. J. Fish. Aquat. Sci., Toronto, **42**: 1544-1551.
- CLARK, K.L. & R.J. HALL (1985): A study of the effects of pH and aluminium on amphibian eggs and larvae. — Can. J. Zool., Ottawa, **63**: 116-123.
- CLAUSNITZER, H.-J. (1979): Durch Umwelteinflüsse gestörte Entwicklung bei Laich des Moorfrosches (*R. avalis* L.). — Beitr. Naturk. Niedersachsens, Hannover, **32**: 68-78.
- CUMMINS, C.P. (1986): Effects of aluminium and low pH on growth and development in *Rana temporaria* tadpoles. — Oecologia, Berlin, **69**: 248-252.
- DUNSON, W.A. & J. CONNELL (1982): Specific inhibition of hatching in amphibian embryos by low pH. — J. Herpetol., Kansas, **16**: 314-316.
- FELDMANN, R. (1980): Artenhilfsprogramm für Moorfrosch und Gelbbauchunke. — Mittl. Landesanstalt Ökologie, Landschaftsentwicklung Forstplanung Nordrhein-Westfalen, **5**: 108-109.
- FREDA, J. & W.A. DUNSON (1984): Sodium balance of amphibian larvae exposed to low environmental pH. — Physiol. Zool., Chicago, **57**: 435-443.
- (1985): The influence of external concentration on the hatching of amphibian embryos in water of low pH. — Can. J. Zool., Ottawa, **63**: 2649-2656.
- LEHNHART, B. & C. STEINBERG (1984): Limnochemische und limnobiologische Auswirkungen der Versauerung von kalkarmen Oberflächengewässern. — In: Informationsber. Bayer. Landesamt Wasserwirtschaft, München, 210 S.
- PIERCE, B.A. (1985): Acid tolerance in Amphibians. — BioScience, Philadelphia, **35** (4), 239-243.

Eingangsdatum: 16. August 1986

Verfasser: MICHAEL LINNENBACH, Zoologisches Institut I, Im Neuenheimer Feld 230, D-6900 Heidelberg 1; HARALD GEBHARDT, Landesanstalt für Umweltschutz, Baden-Württemberg, D-7500 Karlsruhe.