

# Die Spiegelstation – Eine innovative Methode zur individuellen Unterscheidung und dreidimensionalen Vermessung von Feuersalamandern (*Salamandra salamandra*) im Freiland

Karolin Egle, Simeon Egle & Finja Egle

doi: 10.64134/carolinea/83.4.1-6

## Kurzfassung

Die Spiegelstation wurde im Rahmen von Untersuchungen zur Populationsökologie von Feuersalamandern (*Salamandra salamandra*) im Wasserburgertal im Landkreis Tuttlingen (Baden-Württemberg) zur berührungsfreien dreidimensionalen Vermessung von Salamandern entwickelt. Ohne Anfassen des Tieres wurden mit einem Foto von oben neben dem individuellen Rückenmuster auch Millimeterpapier-Maßstäbe in allen drei Dimensionen erfasst. Das ermöglichte eine nachträgliche Vermessung der Feuersalamander in Breite, Länge und Höhe und damit eine Berechnung des Körpervolumens. Dieses Volumen war annähernd proportional zum Gewicht, welches parallel auf einer Waage gewogen wurde. Die Auswertung von 89 Handfotos aus der Spiegelstation führte zu einer Methode, mit der das Gewicht der Feuersalamander mit einer Abweichung von durchschnittlich 12,4 % vom gewogenen Gewicht berechnet werden konnte. Das in CAD gezeichnete Modell der Spiegelstation kann im 3D-Drucker beliebig vervielfältigt werden und so von jedem Forschenden genutzt werden, der mehr über Größe, Gewicht und Volumen freilebender Feuersalamander erfahren möchte.

## Abstract

### Inventing the mirror station – an innovative field method for distinguishing individual fire salamanders (*Salamandra salamandra*) and three-dimensional measurements

We developed the mirror station as a non-invasive three-dimensional measurement tool of fire salamanders (*Salamandra salamandra*) during our study on the population ecology of salamanders in the Wasserburger valley in the district of Tuttlingen (Baden-Württemberg). Without touching the animal, scales made of graph paper were recorded in all three dimensions in addition to the individual dorsal pattern using a photo taken from above. This facilitated the subsequent measurement of body width, length and height of fire salamanders and thus an estimate of body volume. The volume was approximately proportional to the body mass, which we

recorded in parallel on a balance. From a subset of 89 photos obtained from the mirror station we estimated the body mass of fire salamanders with an accuracy of 12.4% on average of the body mass measured on the balance. The CAD-drawn model of the mirror station can be reproduced in a 3D printer and used by all researchers wishing to find out more about the size, body mass and volume of fire salamanders in the field.

## Autoren

Karolin Egle, Simeon Egle & Finja Egle, Robert-Koch-Straße 18, 78532 Tuttlingen

E-Mail: feuersalamander.wbt@gmail.com

## 1 Einleitung

Der Feuersalamander (*Salamandra salamandra*) gehört in Baden-Württemberg zu den besonders geschützten Arten (z. B. Rimpp 2007, Laufer & Waitzmann 2022, Böning et al. 2024). Um das lokale Vorkommen dieser bemerkenswerten Art vor dem Straßentod zu schützen, baute der NABU im Jahr 2020 im Wasserburgertal im Landkreis Tuttlingen einen mobilen Amphibienschutzzaun entlang der Kreisstraße K6178 auf (Abb. 1). Innerhalb von vier Beobachtungsjahren wurden bei Kontrollgängen entlang des Amphibienschutzzauns fast 1.600 Aufnahmen von Feuersalamandern gemacht, die anhand des individuellen Rückenmusters (vgl. Thiesmeier & Günther 1996) über 700 Individuen zugeordnet werden konnten (Egle et al. 2024). Damit kommt im Süden von Baden-Württemberg eine besonders große, vom Straßenverkehr der Kreisstraße K6178 bedrohte Feuersalamanderpopulation vor. Anfänglich wurden die einzelnen Tiere mit Fotos in Dorsalansicht mit Maßstab zur Bestimmung der Länge dokumentiert. Um während der Kontrollen des Amphibienschutzzauns mehr über Größe, Gewicht und Körpervolumen der Feuersalamander herauszufinden, wurde von uns die sogenannte „Spiegelstation“ (Abb. 2) entwickelt. Mit dieser wird der Feuersalamander

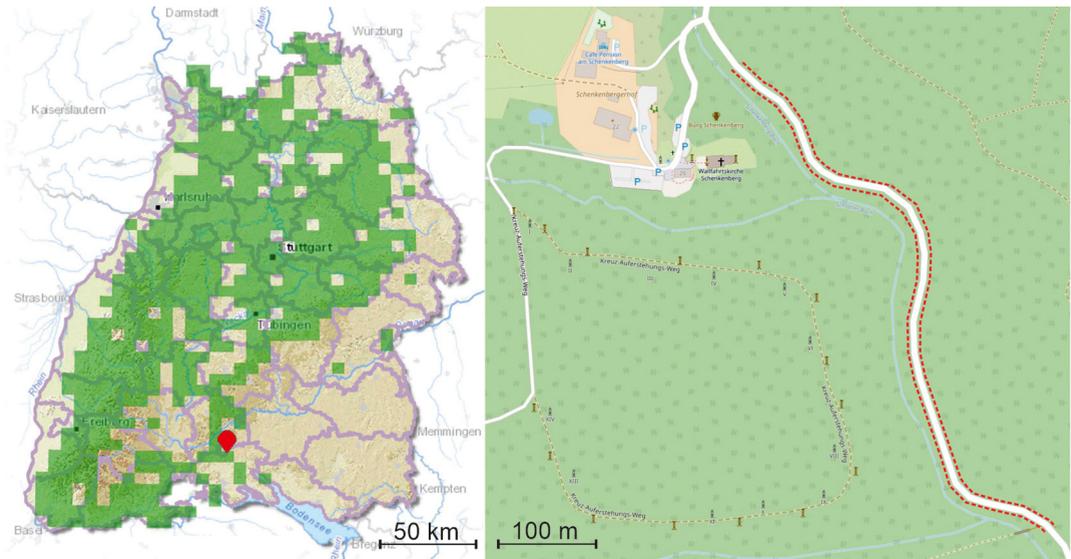


Abbildung 1. In der Verbreitungskarte (links) des Feuersalamanders (*Salamandra salamandra*) in Baden-Württemberg ist die Lage des Untersuchungsgebietes im Wasserburgertal, Landkreis Tuttlingen, rot markiert. Die Detailkarte (rechts) zeigt den Verlauf des Amphibienschutzzauns (rote gestrichelte Linien) zu beiden Seiten der Kreisstraße K6178 und parallel zum Schlatterbach (Quellen: LUBW und OpenStreetMap, verändert).

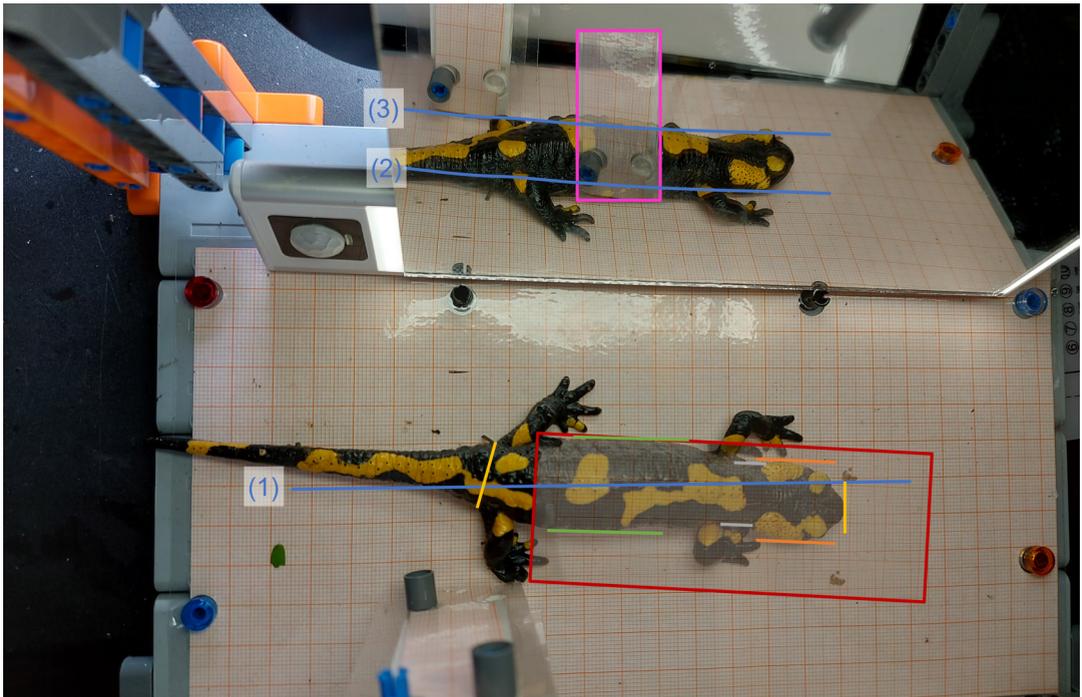


Abbildung 2. Aufnahme eines Feuersalamanders (*Salamandra salamandra*) in der Spiegelstation. Der seitlich angebrachte Spiegel erlaubt die gleichzeitige Erfassung des Tieres in Dorsal- und Seitenansicht. Die Auskleidung der Spiegelstation mit Millimeterpapier erlaubt das Ablesen verschiedener Messstrecken (vgl. Text).

allein durch eine Aufnahme in Dorsalansicht in allen drei Dimensionen (Länge, Breite und Höhe) erfasst. So wollten wir eine Methode zur ungefähren Berechnung des Gewichts über ein gemessenes Volumen entwickeln, um mit einer Größe/Gewicht-Verteilung mehr über den Zustand und die Zusammensetzung der untersuchten Population aussagen zu können.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Das Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Wasserburgertal, Landkreis Tuttlingen, und damit am südöstlichen Rand des für Baden-Württemberg bekannten Vorkommens des Feuersalamanders (Abb. 1). Es umfasst einen 700 m langen Abschnitt der Kreisstraße K6178, die hier parallel zum Schlatterbach, einem Laichgewässer des Feuersalamanders, verläuft. Entlang dieser Strecke befindet sich zu beiden Seiten der Straße der Amphibienschutzzaun, der im Zeitraum 2020 bis 2023 jeweils in den Monaten März bis November regelmäßig kontrolliert wurde.

### 2.2 Die Entwicklung der Spiegelstation

Das erste Modell der mit Millimeterpapier ausgekleideten Spiegelstation wurde aus LEGO® Technic gebaut. Die nach oben offene Spiegelstation war mit zwei akkubetriebenen Lampen ausgestattet, die eine gute Ausleuchtung der Tiere beim Fotografieren von oben ermöglichen. Ein schräg gestellter Spiegel sorgte dafür, dass ein Tier auf demselben Foto sowohl in Dorsal- als auch in Lateralansicht festgehalten wurde (Abb. 2). Die Auskleidung der Spiegelstation mit Millimeterpapier erlaubte die nachträgliche Vermessung der fotografierten Feuersalamander.

Als Weiterentwicklung wurde die Spiegelstation mit der CAD-Software SolidWorks (Dassault Systèmes-SolidWorks Corporation, Vélizy-Villacoublay, Frankreich) gezeichnet, so dass sie mit einem 3D-Drucker (Bambu Lab limited, Shenzhen, China) beliebig oft vervielfältigt werden kann (Abb. 3). Bei dem weiterentwickelten Modell wurde im Boden ein rechteckiges Loch ausgespart; das Millimeterpapier war an den Rändern angebracht. Damit ist es möglich, einen Feuersalamander im Gelände zu fotografieren und die Daten in allen drei Dimensionen zu erhalten, ohne ihn anfassen zu müssen.

### 2.3 Vermessung anhand von Fotos

Da mit jedem Feuersalamander Maßstäbe fotografiert wurden, ließen sich die Maße für z.B.

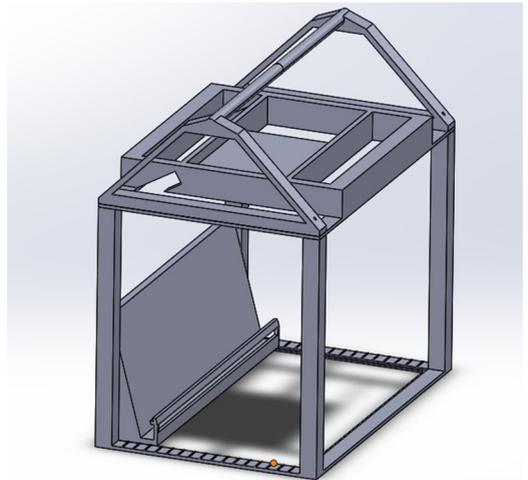


Abbildung 3. Modell der mit der CAD-Software SolidWorks erstellten, weiterentwickelten Version der Spiegelstation. Diese Version ist nach unten offen, und die Wände sind mit Millimeterpapier ausgestattet.

Kopf-, Bauch- und Nackenbreite sowie für Körperlänge und -höhe (maximale dorsoventrale Ausdehnung) einfach mit Hilfe von Microsoft PowerPoint ablesen (Abb. 2). Die Höhe (blaue Linien) des Feuersalamanders wurde im Bild des Spiegels gemessen. Dafür wurde die Linie, die unter dem höchsten Punkt verläuft, zunächst im Bild von oben (1) und dann auch im Bild des Spiegels (2) auf dem Millimeterpapier nachgezeichnet. Die im Spiegelbild gezeichnete Linie wurde dann parallel nach oben bis zum höchsten Punkt auf der Wirbelsäule (3) verschoben. Durch das Verschieben des Maßstabs im Spiegel (rosa Rahmen) an die beiden Linien konnte die Höhe anhand dieses Abstands abgelesen werden. Die Breiten (grün, orange, grau) wurden ebenfalls durch das parallele Verschieben von gezeichneten Linien am verschobenen Maßstab (roter Rahmen) gemessen. Da Feuersalamander im Bild meist gekrümmt lagen, wurden die Körperlänge und auch andere Längen durch das Anlegen eines Fadens am Bildschirm gemessen. Mit dem Faden wurde zum Beispiel die Wirbelsäule von Schnauzenspitze bis zum schwanzseitigen Hinterbeinansatz (gelbe Linien) verfolgt, dann wurde der Faden gerade gezogen und an den Maßstab angelegt, so dass die Körperlänge abgelesen werden konnte. Um die Tauglichkeit der Messmethode zu prüfen, wurden die einzelnen Messstrecken an einem Modellsalamander ein-

mal direkt und einmal anhand des mit Hilfe der Spiegelstation erstellten Fotos genommen. Beide Methoden führten zu sehr ähnlichen Messwerten (Abweichung  $\pm 0,3$  cm).

## 2.4 Die Ermittlung des Körpergewichts anhand festgelegter Messstrecken

Parallel zum Fotografieren der Feuersalamander in der Spiegelstation wurde das aktuelle Gewicht mittels einer Waage (Sartorius AG Göttingen, Göttingen, Deutschland,  $\pm 0,1$  g) festgestellt. Die Mitnahme einer Waage im Feld ist oft umständlich, da meist für eine Stromversorgung gesorgt werden muss. Vor jeder Messung muss die Waage im unebenen Gelände mittels einem selbst entwickelten Waagentisch ins Wasser gestellt werden, um korrekte Messergebnisse zu erhalten. Diese aufwendige Datenerhebung war Grundlage für die Entwicklung einer Methode, um möglichst genaue Gewichte anhand der Körpermaße zu berechnen. Dafür muss anhand der Kopf-, Bauch- und Nackenbreite, der Körperlänge und -höhe ein Körpervolumen ermittelt werden. Um die Genauigkeit der Methode zu prüfen, wurden 89 Tiere fo-

tografiert, gemessen und gewogen. Dabei reichen die Gewichte von 1,3 g bis 48,3 g und repräsentieren sowohl kleine, juvenile Tiere als auch große, geschlechtsreife Exemplare.

## 3 Ergebnisse

Nach unseren Beobachtungen ließ sich das Körpervolumen am besten aus den Durchschnittswerten von Kopf-, Nacken- und Bauchbreite berechnen, die mit der Körperhöhe sowie der Körperlänge (gemessen vom Vorderrand des Kopfes bis zum Ansatz der Hinterbeine) sowie dem Faktor  $\frac{4}{3} \pi$  multipliziert und zur Schwanzlänge addiert wurden (Abb. 4). Aufgetragen auf das Gewicht ergab sich eindeutig eine Proportionalität, durch die das Gewicht eines Feuersalamanders anhand dessen Körpermaße berechnet werden kann. Mit der Formel  $\text{Gewicht} = 0,97 \text{ g/cm}^3 \times \text{Volumen} - 1,5 \text{ g}$  konnte ein ungefähres Gewicht berechnet werden. In Abb. 4 eingezeichnet ist außerdem die obere Grenze mit  $\text{Gewicht} = 1,14 \text{ g/cm}^3 \times \text{Volumen} - 0,71 \text{ g}$  und die untere Grenze mit  $\text{Gewicht} = 0,82 \text{ g/cm}^3 \times \text{Volumen} - 2,78 \text{ g}$ . Bei unseren Daten ergab sich

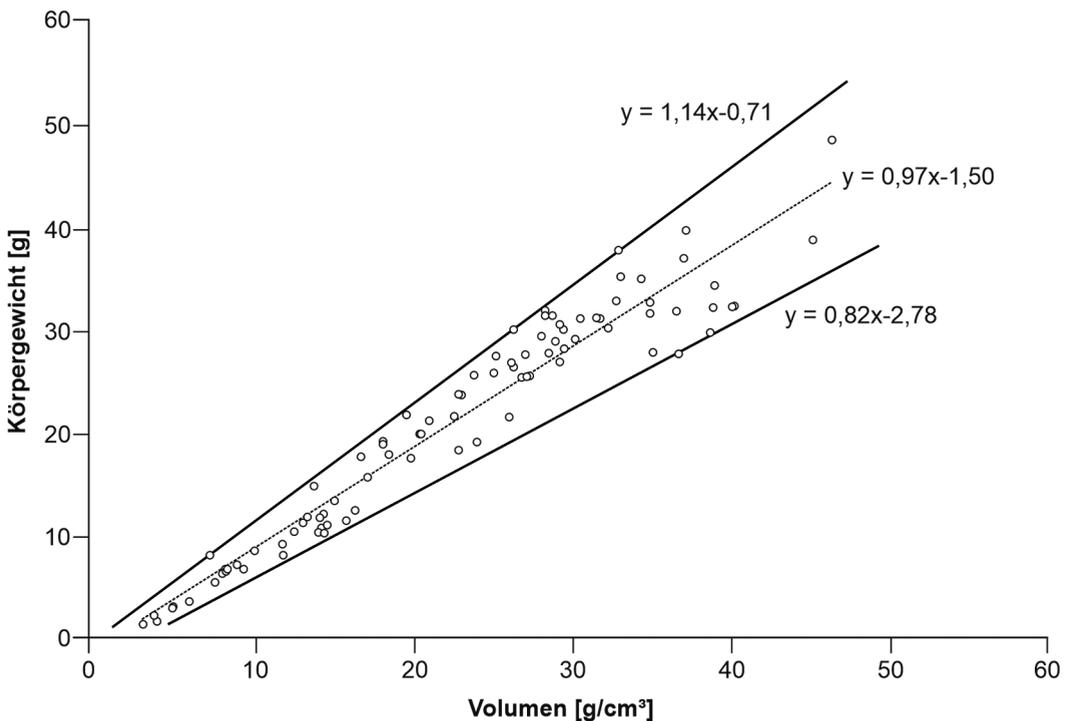


Abbildung 4. Korrelation von Körpergewicht und Volumen bei 89 Feuersalamandern (*Salamandra salamandra*).

mit dieser Methode im Schnitt eine Abweichung von 12,4 % ( $\pm 3$  g bei 25 g schweren Tieren) vom gewogenen Gewicht (siehe Abb. 5).

#### 4 Diskussion und Ausblick

Eine aufwendige Vermessungs- und Berechnungsmethode ist notwendig, da es zwischen Länge und Gewicht keine einfache Proportionalität gibt, denn die Körperhöhe und -breite des Feuersalamanders beeinflussen neben der Länge dessen Gewicht maßgeblich. Verschiedene mathematische Berechnungsmethoden wurden mit den Maßen angewendet. Die Berechnungsmethode, bei der das Körpervolumen als Ellipsoid berechnet und die Schwanzlänge addiert wird, stellte sich als die Methode mit der besten Proportionalität und der geringsten Abweichung dar. Die Berechnung des Gewichts ergibt aufgrund der Abweichung von  $\pm 5$  g nur einen Näherungswert für das tatsächliche Gewicht, was aber für die aktuelle Untersuchung der lokalen Feuersalamander-Population ausreichend ist. Die Spiegelstation ermöglicht eine einfache Ver-

messung im Gelände mit minimalem bzw. gar keinem Stress für das Tier. Mit einer Abmessung von 30x17x21 cm (LxBxH) ist das Tool handlich und kann bei jedem Geländegang mitgeführt werden.

Weitere Vorteile der Spiegelstation sind zum einen, dass das individuelle Rückenmuster dokumentiert wird. Durch die individuelle Unterscheidung der Tiere kann die Anzahl der tatsächlich gefangenen Individuen bestimmt werden. Dies ist wiederum eine wesentliche Voraussetzung für die Schätzung der lokalen Populationsgröße des Feuersalamanders mit Hilfe der Capture-Recapture-Methode (z. B. Rebelo & Leclair 2003, Speybroeck & Steenhoudt 2017). Zum anderen ist im Spiegel die Kloakenform erkennbar, an der sich Männchen und Weibchen unterscheiden lassen (Thiesmeier & Günther 1996, Rebelo & Leclair 2003). Damit ist anhand der Fotobelege sogar eine Geschlechtsbestimmung nachträglich nachvollziehbar, die für Populationsstudien essentiell ist. Auch kann man mit der Station die Körpervolumina trächtiger Weibchen messen.

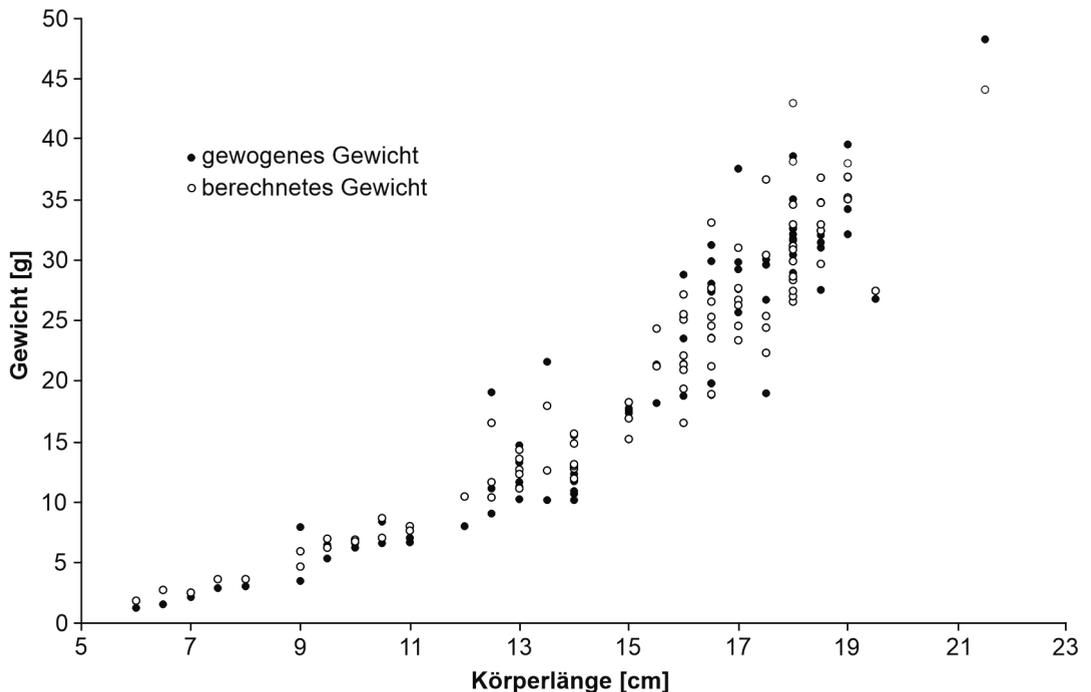


Abbildung 5. Abweichung von gewogenem und berechnetem Gewicht in Abhängigkeit von der Körperlänge bei 89 vermessenen Feuersalamandern (*Salamandra salamandra*).

Durch die Weiterentwicklung als 3D-Druck-Modell können alle an Feuersalamandern interessierten Forschenden die Spiegelstation nutzen, damit es in Zukunft noch mehr interessante Entdeckungen über die besonders bedrohten Feuersalamander gibt.

### Danksagung

Wir danken Franz Merklinger für die ausführliche Betreuung des gesamten Forschungsprojekts sowie Prof. Dr. Barbara Caspers und Max Mühlenhaupt (Universität Bielefeld), die uns bei all unseren Fragen hilfreich zur Seite standen. Julia Putze (Umweltministerium Baden-Württemberg) und Dr. Albrecht Manegold (Staatliches Museum für Naturkunde Karlsruhe) halfen bei der Erstellung des Manuskripts. Besonderer Dank gilt Dr. Alexander Kupfer (Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart) für seine kritischen und konstruktiven Kommentare zu einer früheren Manuskriptversion.

### Literatur

- Böning, P., Plewnia, A., Virgo, J., Adam, J., Banowski, N., Bleidißel, S., Dabbagh, N., Dalbeck, L., Düssel, H., Ellwart, S., Feiler, L., Ferner, V., Fischer, M., Gemeinhardt, L., Guschal, M., Geiger, A., Hansbauer, G., Hechinger, M., Hildwein, T., Hirz, A., Hoppe, M., Jung, L., Jurczyk, M., Kirst, K., Kupfer, A., Melville, D.W., Odenwälder, G., Ohloff, D., Peters, M., Preissler, K., Prietzel, M., Reinhardt, T., Schlüpmann, M., Schneider, M., Schreiber, R., Schulte, U., Schulz, V., Schweinsberg, M., Schwemmer, H., Sommer, S., Steinfartz, S., Thein, J., Twietmeyer, S., Vences, M., Vogt-Pokrant, F., Wagner, N., Wegge, J., Ziemek, H.-P., Veith, M. & Lötters, S. (2024): Die Salamanderpest: Charakterisierung, aktuelle Situation in Deutschland, Handlungsempfehlungen. – Zeitschrift für Feldherpetologie **31**: 1-58.
- Egle, K., Egle, S. & Egle, F. (2024): *Salamandra salamandra terrestris* – Populationsbetrachtung in 10-D. (unveröffentlichter Abschlussbericht für Jugend forscht – Bundeswettbewerb).
- Gippner, S., Strowbridge, N., Sunje, E., Capstick, M., Amat, F., Bogaerts, S., Merabet, K., Preissler, K., Galán, P., Martínez-Solano, I., Bonato, L., Steinfartz, S., Velo-Antón, G., Dufresnes, C., Elmer, K. R. & Vences, M. (2024): The effect of hybrids on phylogenomics and subspecies delimitation in *Salamandra*, a highly diversified amphibian genus. – *Salamandra* **60**: 105-128.
- Laufer, H. & Waitzmann, M. (2022): Rote Liste und kommentiertes Verzeichnis der Amphibien und Reptilien Baden-Württembergs. – *Naturschutz-Praxis Artenschutz* **16**: 1-94.
- Rebelo, R. & Leclair, M. H. (2003): Site tenacity in the terrestrial salamandrid *Salamandra salamandra*. – *Journal of Herpetology* **37**: 440-445.
- Rimpp, K. (2007). Feuersalamander *Salamandra salamandra* (Linnaeus, 1758). – In: Laufer, H., Fritz, K. & Sowig, P. (Hrsg.): Die Amphibien und Reptilien Baden-Württembergs: 171-190; Stuttgart (Ulmer).
- Speybroeck, J. & Steenhoudt, K. (2017): A pattern-based tool for long-term, large-sample capture-mark-recapture studies of fire salamanders *Salamandra* species (Amphibia: Urodela: Salamandridae). – *Acta Herpetologica* **12**: 55-63.
- Thiesmeier, B. & Günther, R. (1996): Feuersalamander – *Salamandra salamandra* (Linnaeus, 1758). – In: Günther, R. (Hrsg.): Die Amphibien und Reptilien Deutschlands: 82-104; Jena, Stuttgart, Lübeck, Ulm (Gustav Fischer).

### Internetquellen

- [www.lubw.baden-wuerttemberg.de/natur-und-landschaft/lak-amphibien-und-reptilien](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/natur-und-landschaft/lak-amphibien-und-reptilien) – Landesweite Artkartierung (LAK) der Amphibien und Reptilien in Baden-Württemberg, Stand 17.11.2024
- [www.openstreetmap.de](http://www.openstreetmap.de) – interaktive Karte von Deutschland, die von OpenStreetMap, einer freien und offenen Kartendatenbank, erstellt wurde, Stand 17.11.2024